



**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# **TREBALL DE FI DE CARRERA**

**TÍTOL DEL TFC: Constant Pressure Combustion Chamber for a high energetic solid propellant study as a part of a low cost launcher**

**TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació**

**AUTOR: Albert Moga Domínguez**

**DIRECTOR: Sònia Pérez Mansilla**

**DATA: 22 de novembre de 2010**



**Títol:** Constant Pressure Combustion Chamber for a high energetic solid propellant study as a part of a low cost launcher

**Autor:** Albert Moga Domínguez

**Director:** Sònia Pérez Mansilla

**Data:** 22 de novembre de 2010

## **Resum**

Aquest treball final de carrera tracta els aspectes de construcció i ajustos d'una Cambra de Combustió a Pressió Constant o Constant Pressure Combustion Chamber (CPCC) per a l'estudi de combustibles sòlids altament energètics com una part de la llançadora de baix cost WikiLauncher, fent servir mètodes de prototipat ràpid.

L'ús de la CPCC ha de reduir temps i recursos en el disseny d'una llançadora espacial completament nova, especialment en el procés d'estudi dels combustibles, però també en el de construcció de prototips.

Per fer aquest treball he fet servir la eina informàtica SolidWorks, tant per al disseny de les peces com per a simular les càrregues a les que estaran sotmeses cada una de les peces en la cambra en funcionament.

En aquest treball, he format part del grup WikiSat de l'EETAC, que participa en el concurs N-Prize, per posar un femtosatèl·lit de 20 grams en una òrbita baixa Low Earth Orbit (LEO) a 100 km d'altitud. Per al desenvolupament d'aquest projecte ha estat necessària una reunió setmanal per treballar conjuntament amb la resta de l'equip WikiSat.

Els dos primers mesos s'han dedicat als detalls de construcció de la màquina CPCC i el tercer mes s'hi han fet els ajustaments requerits per ser certificat per al seu ús.

**Title:** Constant Pressure Combustion Chamber for a high energetic solid propellant study as a part of a low cost launcher

**Author:** Albert Moga Domínguez

**Director:** Sònia Pérez Mansilla

**Date:** November, 22nd 2010

## Overview

This final work is related to the construction and setting-up of a Constant Pressure Combustion Chamber (CPCC) for studying high energetic solid propellant as a part of a low cost WikiLauncher using rapid prototyping methods.

Using the CPCC should reduce the resources and the time spent on the design of a new space launcher, specially on the study of the propellant, but also on the prototype construction.

For this work I used the informatic tool SolidWorks, both for the design of the parts and for the simulation of the loads each part will be subjected to when the chamber is operating.

In this project I worked as a part of the WikiSat team at the EETAC, which contests for the N-Prize in putting a femto-satellite (20 grams) in a Low Earth Orbit (LEO) 100 km altitude. As a part of the team I attended in a weekly meeting, working with the rest of the group of the WikiSat team.

The two first months were dedicated to the building aspects of the CPCC and the following month was focused in the setup.



# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTOL 1. CONTEXT DEL PROJECTE .....</b>	<b>7</b>
1.1. Concursos .....	7
1.1.1. N-Prize .....	7
1.1.2. Google Lunar X-Prize .....	8
1.2. Requisits de la CPCC .....	9
1.3. Funcionament de la CPCC .....	9
<b>CAPÍTOL 2. DISSENY .....</b>	<b>11</b>
2.1. Eines de disseny .....	11
2.2. Simulació de càrregues sobre una peça .....	11
<b>CAPÍTOL 3. PECES .....</b>	<b>19</b>
3.1 Base .....	19
3.1.1 Suport base (CPCC-BS01) .....	20
3.1.2 Adaptador (CPCC-BS02) .....	21
3.1.3 Bloquejador del cos (CPCC-BS03) .....	22
3.1.4 Anell de fixació (CPCC-BS04) .....	22
3.1.5 Adaptador dels cables (CPCC-BS05) .....	23
3.1.6 Cargol de l'adaptador dels cables (CPCC-BS06) .....	23
3.1.7 Cable (CPCC-BS07) .....	24
3.1.8 Connector (CPCC-BS08) .....	24
3.2 Cos .....	24
3.2.1 Cos de la cambra (CPCC-CB01) .....	26
3.2.2 Finestra (CPCC-CB02) .....	26
3.2.3 Marc de la finestra (CPCC-CB03) .....	27
3.2.4 Tapa superior (CPCC-CB04) .....	27
3.2.5 Cargol (CPCC-CB05) .....	28
3.2.6 Tovera (CPCC- CB06) .....	28
3.3 Adaptador de la mostra .....	29
3.3.1 Adaptador de la mostra (CPCC-SA01) .....	29
3.3.2 Connexions (CPCC-SA02) .....	30
3.4 Materials .....	31
<b>CAPÍTOL 4. FUNCIONAMENT I ÚS .....</b>	<b>33</b>
Conclusions .....	39
Bibliografia .....	41
Annexes .....	43

## INTRODUCCIÓ

Aquest treball de final de carrera recull el procés del disseny d'una cambra de combustió a pressió constant (CPCC).

L'objectiu d'aquest document és explicar el procés de disseny i les instruccions de muntatge i d'ús de la CPCC.

Al primer capítol hi ha explicat el projecte en el qual s'engloba, els concursos N-Prize i Google Lunar X-Prize pels quals es fa la CPCC. També s'especifiquen els requisits que ha de complir i s'explica el seu funcionament.

Al segon capítol hi ha explicat el procés de disseny amb el programa SolidWorks i els passos que cal seguir per fer una simulació de càrregues amb aquest programa seguint un exemple pràctic. En l'exemple també s'expliquen les dades obtingudes i les maneres de mostrar els resultats per pantalla.

Al tercer capítol hi ha una explicació detallada de cada una de les peces que s'han dissenyat i que calen per a la construcció de la CPCC.

Al quart capítol hi ha les instruccions de muntatge i d'ús de la CPCC, les precaucions que cal tenir i les condicions límit en que es pot fer servir.

# CAPÍTOL 1. CONTEXT DEL PROJECTE

## 1.1. Concursos

El projecte de la cambra de combustió a pressió constant (CPCC) neix de la voluntat de guanyar dos concursos, l'N-prize i el Google Lunar X-Prize que explico detalladament als següents subapartats. L'assoliment de les fites que marquen aquests concursos implica l'ús d'una llançadora espacial, i el seu disseny previ. Desenvolupar una llançadora des de zero demana una inversió de temps i recursos molt important, i cal buscar la manera d'optimitzar-los ja que tenim uns recursos limitats i el temps requerit per desenvolupar el projecte dins el termini del concurs tampoc és massa extens. El treball amb una CPCC permetrà que el desenvolupament de la llançadora sigui molt més àgil i menys costós.

El fet de participar en concursos com un equip ha suposat una reunió setmanal per tractar els temes que involucren els diferents projectes de l'equip, i per posar-los en comú. En les reunions s'han tractat tant temes de dificultats en el disseny com temes d'organització de l'equip o de relacions externes amb empreses o amb els mitjans de comunicació.

També ha anat lligada al desenvolupament de la CPCC la recerca d'un col·laborador que fabriqui les peces més complexes, que no podem produir nosaltres mateixos i que no es troben al mercat. En el disseny hi ha peces que s'han de fabricar especialment per a la CPCC, i algunes requereixen un mecanitzat que no tenim mitjans per fer al laboratori, per això és molt important trobar un fabricant que vulgui fer-se càrrec de les peces que fan falta per a la construcció de la cambra.

### 1.1.1. N-Prize

N-Prize és un concurs on es premia amb 9.999,99 lliures esterlines el primer equip capaç de posar en òrbita un satèl·lit amb una massa entre 9,99 i 19,99 grams. La òrbita a la qual s'ha de situar el satèl·lit ha de ser del tipus LEO, 100 km per sobre del nivell del mar com a mínim. L'equip guanyador ha de demostrar que ha completat 9 òrbites. El cost operatiu del llançament del satèl·lit ha de ser inferior a mil lliures esterlines.

N-Prize ofereix dos premis d'igual valor, un per a sistemes d'un sol ús, i un altre per a sistemes que es puguin tornar a fer servir parcial o totalment.

Per optar al premi s'han d'haver completat les 9 òrbites abans de les 19:09:09 hores (GMT) del dia 19 de setembre de 2011.

L'equip amb el què participem en aquest concurs és el WikiSat i estem treballant en el WikiLauncher, que serà la nostra llançadora espacial de baix cost. A l'equip ja hem treballat amb el satèl·lit. Encara no ha estat en òrbita, però s'han fet proves. El que encara no s'ha provat és la llançadora, de la que costa més de fer-ne prototips. Per això és important la CPCC en aquest

projecte, perquè ens ajudarà a fer un gran pas endavant en el desenvolupament del WikiLauncher.

### **1.1.2. Google Lunar X-Prize**

Aquest concurs consisteix a fer arribar un robot a la lluna, de manera que aquest sigui capaç de moure's de manera autònoma al llarg de cinc-cents metres, retransmetent imatges a la terra. Un altre requisit per aquest concurs és que els recursos públics que en poden invertir en l'equip no poden superar el 10% del pressupost, incentivant d'aquesta manera la investigació espacial privada. Aquest concurs té la data de venciment el dia 31 de desembre de 2012 per al premi de 20 milions de dòlars. Però té prevista una pròrroga fins al 31 de desembre de 2014 amb un primer premi de 15 milions de dòlars, 5 milions per al segon en aconseguir l'objectiu i 5 milions més en altres premis.

En aquest concurs hi participem com a equip PicoRover, dins el Team FREDNET. El PicoRover té com a punt clau la seva massa, molt petita per les seves capacitats de tracció, que permetrien reduir molt el sistema d'aterratge a la lluna i també el coet necessari per arribar-hi. En aquest sentit, el N-Prize és un primer pas cap al Google Lunar X-Prize.

Team FREDNET és un equip obert a la participació de qualsevol que vulgui aportar idees o recursos. El fundador, Fred J. Bourgeois, és americà, però l'equip té membres de multitud de nacionalitats. Sense anar més enllà, els tres líders són de diferents zones dels Estats Units, el cap de comunicacions viu a Suècia i el cap de coets a Austràlia. Per davant de tot és un equip Open Source i publica els documents que desenvolupa per afavorir la participació. Vol ser una plataforma amb desenvolupadors, enginyers i científics similar a la que desenvolupa el software lliure com Linux aplicada a obtenir solucions per al sector espacial.

El fet de tenir el PicoRover, que probablement serà un robot que circularà per la Lluna, ha cridat l'atenció de diversos mitjans de comunicació tant de premsa escrita com d'emissores de ràdio i televisió, que han vingut a Castelldefels a veure el què estem fent en el nostre laboratori i ens han demanat que anem als seus platós per parlar del que estem fent. Això ens ajuda a fer difusió del treball que s'està fent a l'EETAC i ens ajuda a que se'ns reconegui per part d'altres entitats que poden ser col·laboradores del projecte. Tot i que el PicoRover ha estat dissenyat i fet íntegrament a Castelldefels, l'aparició d'un altre equip afincat a Barcelona en aquest concurs ha fet que part de les mirades que s'havien fixat en nosaltres es desplacin cap a ells, que es defineixen com l'equip que vol "promocionar les col·laboracions entre la indústria aeroespacial espanyola, les escoles i tota la societat"

## 1.2. Requisits de la CPCC

La CPCC ha de servir per fer test amb materials altament energètics que un cop verificats serviran per fer prototips de llançadora espacial. L'ús del CPCC accelera el procés de desenvolupament d'una llançadora espacial, perquè estalvia emprar prototips des del principi, fent-los servir només en les últimes fases del desenvolupament. Això és així perquè el combustible es verifica per separat de la estructura de la llançadora, permetent que hi hagi un equip de treball per al combustible i un altre per a l'estructura que no s'interfereixen fins que cada cosa funciona per separat.

Els requisits que ha de complir el CPCC per al nostre propòsit són:

- El factor de seguretat mínim per una pressió de 200 bar ha de ser més gran que 1.
- Ha de tenir una vàlvula de seguretat per evitar superar la pressió límit.
- Ha de tenir una entrada per gasos.
- Ha de tenir una connexió per a instal·lar un manòmetre que mesuri la pressió interna de la cambra.
- Ha de tenir dues finestres enfrontades que permetin passar la llum.
- Ha de poder incorporar sensors de temperatura.
- Ha de permetre la ignició del material a provar des de l'exterior de la cambra i amb la cambra totalment preparada.

## 1.3. Funcionament de la CPCC

Dins la cambra hi ha una mostra del material que volem analitzar, que principalment serà combustible sòlid, pensat per al seu ús en una llançadora. Creem un flux d'un gas al voltant de la mostra. La pressió dins la cambra augmenta fins arribar a estabilitzar-se. S'encén la mostra i s'observa la energia que desprèn. Quan acaba la reacció s'analitzen les dades i s'obtenen les característiques energètiques de la mostra analitzada.



## CAPÍTOL 2. DISSENY

### 2.1. Eines de disseny

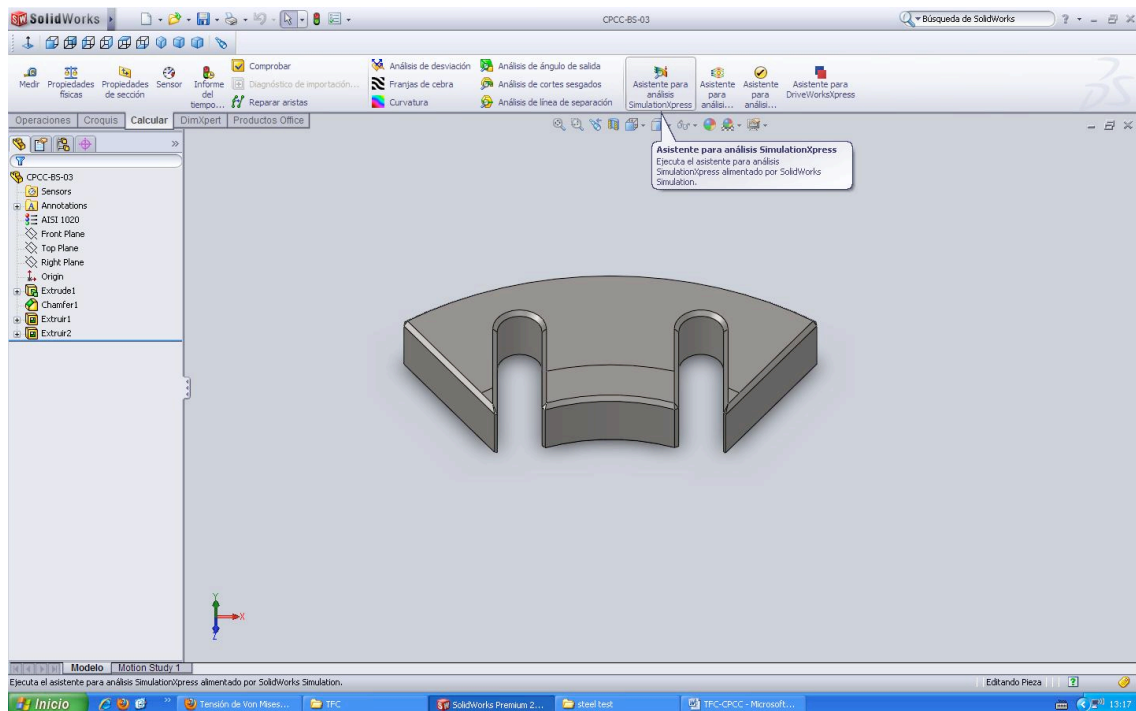
A l'hora de començar el disseny vam escollir treballar amb SolidWorks, perquè és una eina específicament pensada per treballar amb peces per a ensamblar. Aquest software permet simular proves d'esforç, que en aquest cas hem fet servir per conèixer el comportament de cada una de les peces fabricades amb diferents materials, i sota diverses pressions. Com a resultat de cada simulació obtenim el factor de seguretat crític i una representació de la peça amb les deformacions que patiria sota la pressió aplicada i amb colors indicant els punts crítics.

A més aquesta eina informàtica permet la impressió 3D, la qual cosa vol dir que si connectem l'ordinador a una màquina de mecanitzar o a una impressora 3D compatible, podrem obtenir la peça desitjada directament des del nostre disseny de SolidWorks. Això pot facilitar molt la feina del que produeixi les peces definitivament, ja que només haurà de preparar el sòlid del material que volem a la màquina, connectar-la a l'ordinador i donar-li a començar.

### 2.2. Simulació de càrregues sobre una peça

Aquí podeu veure pas a pas com es prepara la simulació d'aplicació de càrregues sobre una peça amb la eina SimulationXpress de SolidWorks.

Primer de tot hem d'obrir amb el SolidWorks la peça que volem analitzar. Ens situarem a la pestanya de menús *Calcular* i clicarem sobre el botó *Asistent para análisis SimulationXpress* (**fig. 2.1.**). Així farem que s'obri una nova finestra on introduïrem les dades que el programa demana per a poder realitzar la simulació.

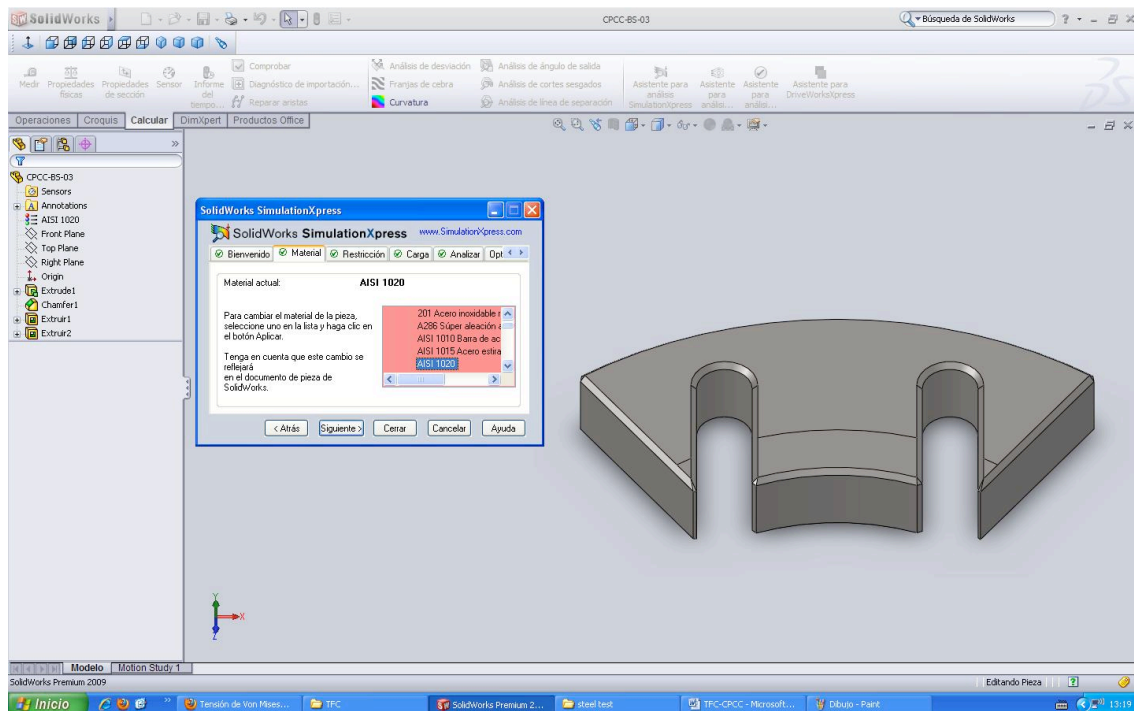


**Fig. 2.1.** Pantalla del programa SolidWorks amb el botó per iniciar l'assistent de simulació ressaltat.

Un cop oberta la finestra del simulador, premem *Siguiente* per avançar des de la pàgina de benvinguda. A continuació entrem a la pestanya de selecció de material, on escollim un material de la llibreria de SolidWorks, del qual es faran servir les seves característiques en el procés de simulació. També es pot crear un material nou, introduint-ne les característiques. Es fa des de la icona de material de la barra esquerra de la pantalla. Clicant amb el botó dret i *Editar material*, escollint un material i copiant-lo a la carpeta *Materiales personalizados*. Un cop allà es modifiquen les dades desitjades i es clica *aplicar* per que la nostra peça sigui feta en el nou material (**fig. 2.2.**).

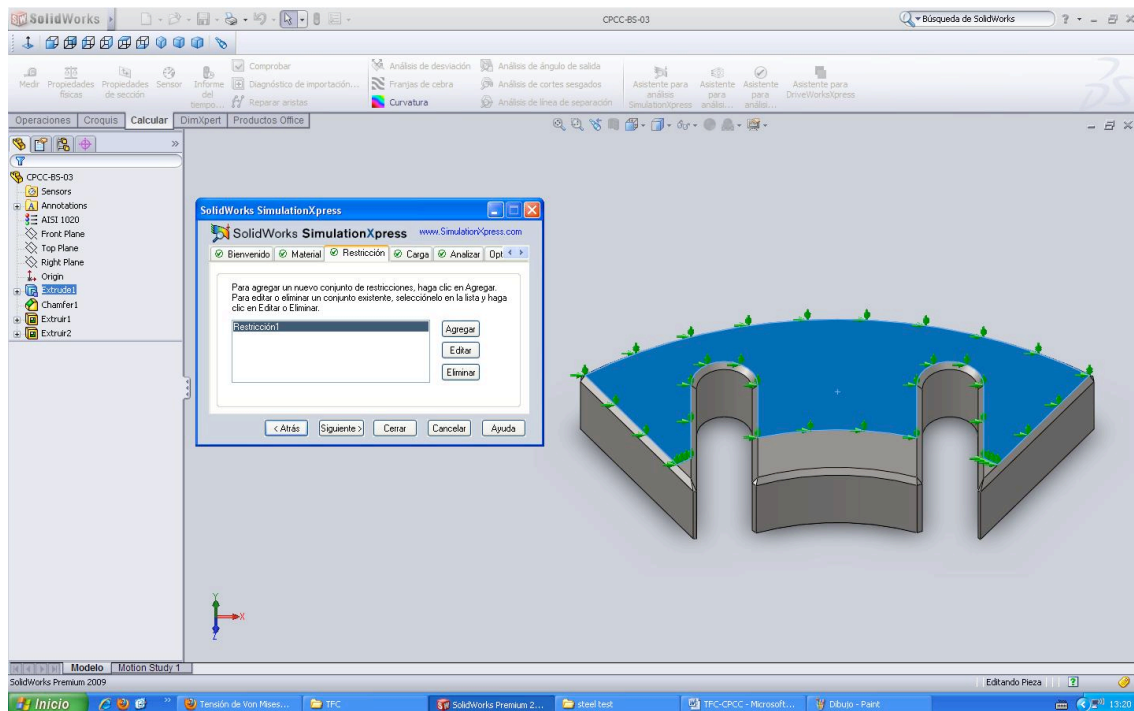
En el cas de l'exemple, el material que escollim és a la biblioteca, i és l'acer AISI 1020. Un cop escollit el material passem a definir les restriccions clicant *Siguiente*.





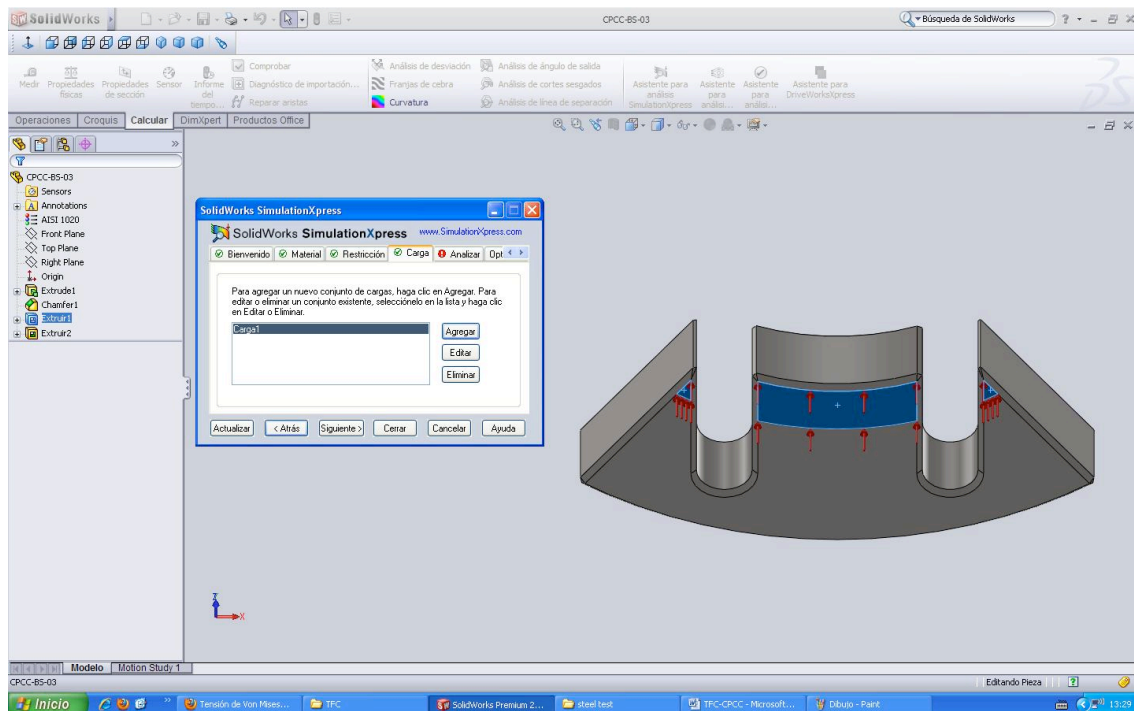
**Fig. 2.2.** Finestra del simulador on hem d'escollir el material amb les propietats del qual es farà la simulació.

Per fer la simulació de càrregues a una peça, abans d'aplicar les càrregues cal definir-ne les restriccions. Això vol dir que hem d'indicar quina part de la peça estarà immòbil durant tot el procés. Podem afegir tantes restriccions com facin falta, i podem editar les que ja hem afegit anteriorment. Així doncs hem de seleccionar per on volem subjectar la peça clicant-hi a sobre. Veiem les restriccions marcades de color blau, i amb fletxes verdes (**fig. 2.3.**). En aquest cas la superfície on hi ha aplicada la restricció és la que està en contacte amb la peça CPCC-BS04, que com que la subjectarà amb els cargols al suport base n'impedirà el moviment. Amb les restriccions ja seleccionades passem al següent apartat, que són les càrregues.



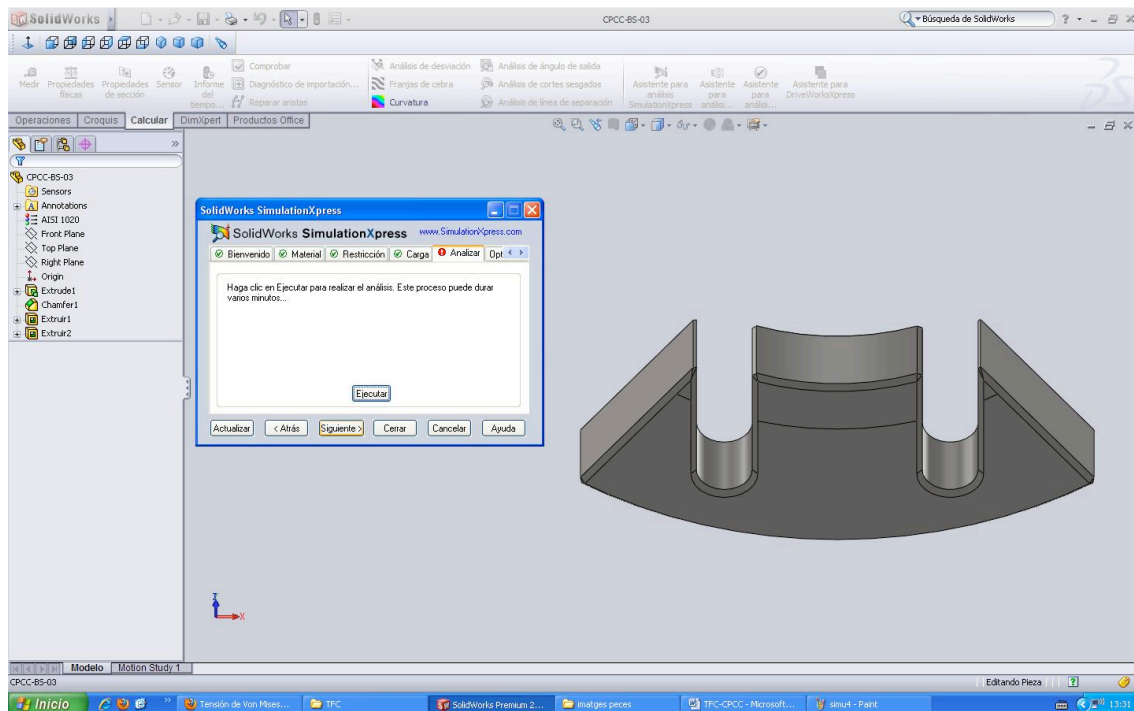
**Fig. 2.3.** Finestra del programa i el simulador mostrant les restriccions escollides per la peça que volem analitzar.

Un cop definida la restricció només falta aplicar una càrrega per que el simulador tingui totes les dades que necessita per començar a calcular. Les càrregues es poden aplicar de dues maneres: en forma de pressió o en forma de força. Es poden aplicar diferents càrregues, tant de pressió com de força, sobre diferents superfícies de la mateixa peça. Per aplicar les càrregues només cal clicar a *Añadir* i escollir entre pressió i força, seleccionar les unitats que volem fer servir i el valor de la càrrega que volem aplicar. Igual que amb les restriccions, seleccionem el lloc on volem aplicar la càrrega clicant directament sobre la peça. i també tenim la opció d'editar càrregues que hàgim creat amb anterioritat (**fig. 2.4.**). En aquest cas només hi ha una càrrega a la part en contacte amb el sortint inferior de la peça CPCC-CB01. Un cop tinguem definides totes les càrregues que vulguem aplicar avancem fins al següent apartat.



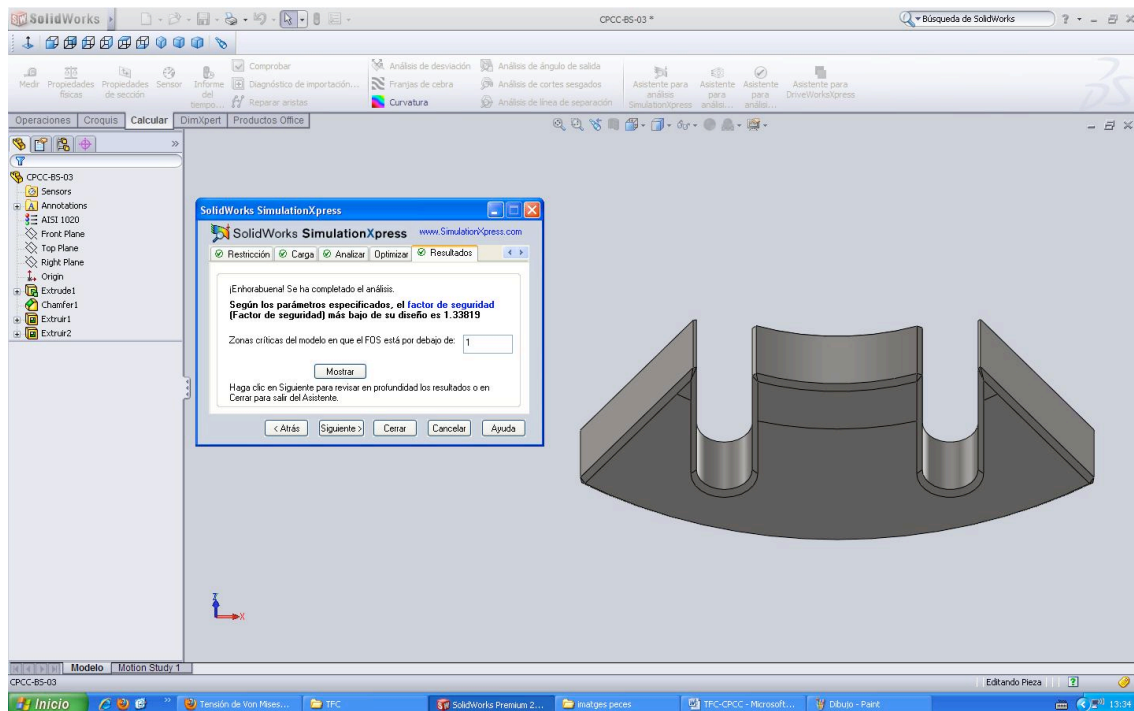
**Fig. 2.4.** Finestra del programa i el simulador mostrant les càrregues que volem aplicar a la peça que volem analitzar.

Estem a la pestanya Analitzar, si escollim la configuració predeterminada, a la pantalla per iniciar la simulació només hi veiem un botó que hi diu Ejecutar (**fig. 2.5.**). En clicar-lo el simulador crea automàticament una malla i fa els càlculs necessaris per a la presentació de resultats. Si volem modificar el tamany dels elements de la malla podem escollir com de fina volem que sigui clicant a canviar la configuració. En l'anàlisi de les peces de la CPCC, la configuració predeterminada ha ofert un resultat prou bo com per no haver-la de modificar.



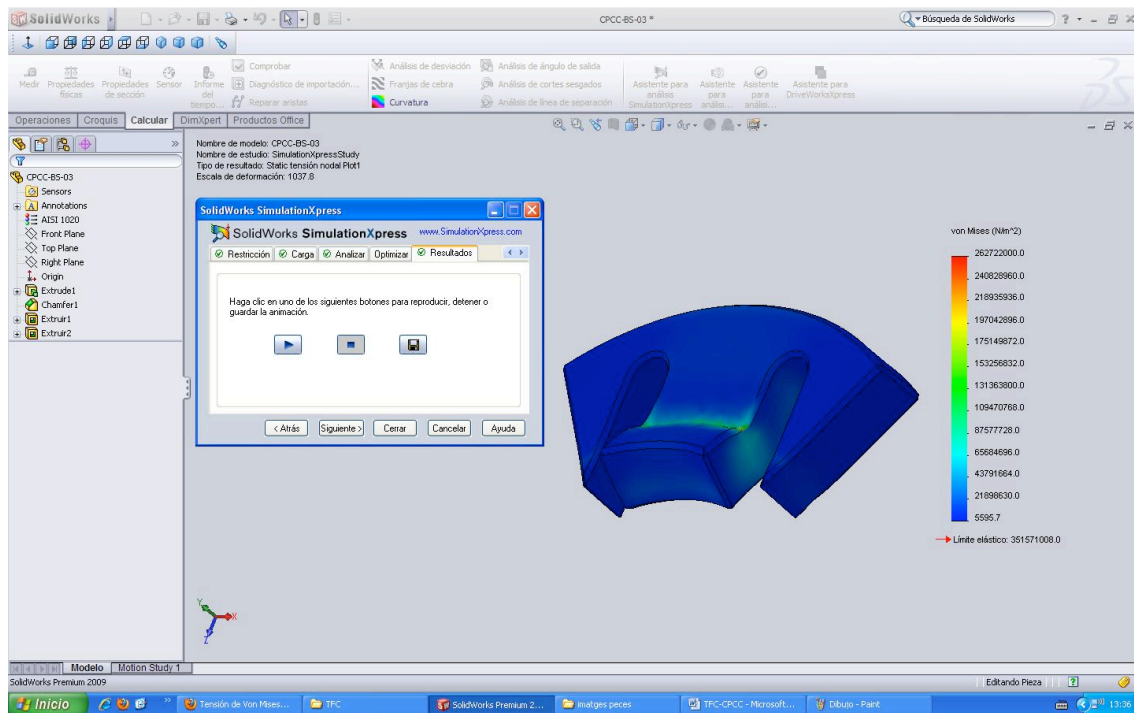
**Fig. 2.5.** Finestra del programa i el simulador en el pas que fa que el simulador creï la malla i faci els càlculs del comportament de la peça.

Un cop l'ordinador ha acabat de fer els càlculs, el simulador ens presenta a la finestra de resultats el factor de seguretat més baix de la peça (**fig. 2.6.**). Aquest factor de seguretat és tan sols un nombre que si és menor que 1 ens indica que la peça no és prou resistent i per tant es podria deformar o trencar si la sotmetem a la càrrega simulada. En aquest cas el factor és superior a 1 i per tant la peça pot suportar la càrrega que hem simulat. El programa ens permet visualitzar, si ho volem, els punts crítics de la peça mitjançant colors, que ens indiquen en vermell els punts que estan per sota d'un determinat factor de seguretat que nosaltres li demanem. Això és molt útil per poder millorar la peça quan veiem que el disseny no és suficientment bo.



**Fig. 2.6.** Finestra del programa i el simulador on el mostra el factor de seguretat obtingut dels càlculs de la simulació.

Si no en temin prou amb el factor de seguretat i volem veure més gràficament els possibles punts febles de la nostra peça, podem seguir endavant a la finestra del simulador i arribarem a una llista on ens dona la opció de veure la deformació, les tensions de von Mises i el límit elàstic entre altres. A la figura següent (**fig. 2.7.**) hi podeu veure com el simulador ens ensenya la peça deformada i amb els colors ens representa les tensions de von Mises. Observant la figura podem pensar que la peça no és bona perquè es deforma molt respecte de com hauria d'estar. Cal dir que la deformació és exagerada i que el simulador sempre mostrarà la mateixa, independentment de que incrementem o disminuïm el valor de les càrregues. És una deformació amb caràcter qualitatiu i no quantitatiu. La determinació de si la peça és bona o no la farem observant les dades numèriques i no la representació gràfica, i en aquest cas el factor de seguretat és adequat.



**Fig. 2.7.** Finestra del programa i la simulació on es mostra la deformació i les tensions de von Mises sobre la peça analitzada.

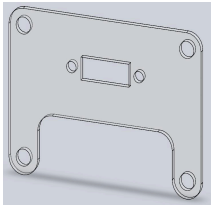
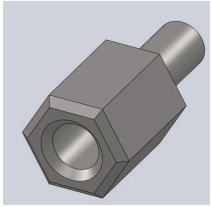
## CAPÍTOL 3. PECES

### 3.1 Base

La base és un conjunt de peces que tenen la funció de suportar la cambra, i que té diversos connectors per als sensors i les entrades de gasos. A la taula 2.1 hi podeu observar les diferents peces que formen el conjunt base.

**Taula 3.1.** Components de la base de la CPCC.

ID	Nom	Descripció	Imatge	Notes
BS00	Conjunt base	Suport de la cambra		
BS01	Suport base	Suport de la base i guiatge dels conductes. Conté la connexió per l'entrada de gas i els cables que entren a la cambra.		
BS02	Adaptador	Guiatge dels cables i el flux de gas. També manté fixat l'adaptador de la mostra.		
BS03	Bloquejadors del cos x5	Bloquegen el cos de la cambra. Manté la cambra tancada.		
BS04	Anell de fixació	Distribueix la pressió dels cargols cap als bloquejadors del cos.		

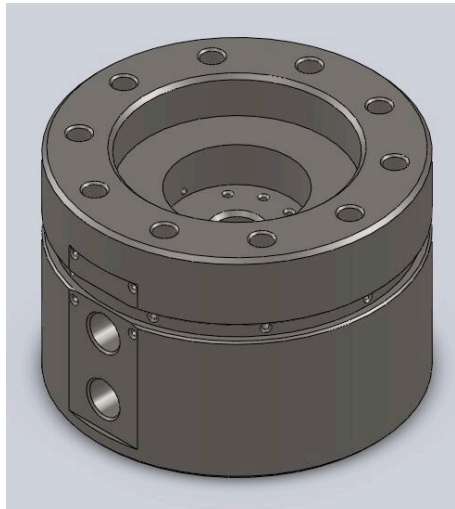
BS05	Adaptador dels cables	Protegeix els cables i connectors i els manté fixos per facilitar la connexió i desconexió.		
BS06	Cargols de l'adaptador dels cables x4	Fixen l'adaptador dels cables al suport base		
BS07	Cable x6	Permet la connexió sense pèrdua de pressió.		
BS08	Connector x6	Permet connectar i desconectar els cables		
<b>ID</b>	<b>Nom</b>	<b>Descripció</b>	<b>Imatge</b>	<b>Notes</b>

### 3.1.1 Suport base (CPCC-BS01)

Aquesta peça és l'encarregada de suportar la CPCC. Incorpora l'entrada de gasos (M16) que crearà un flux al voltant de la mostra, una connexió (M16) per mesurar la pressió de dins de la cambra i sis forats per introduir cables a l'interior de la cambra, que hauran d'anar fins a l'adaptador de la mostra, on serà necessari instal·lar un sistema d'ignició i sensors.

També són molt importants en aquesta peça els 10 forats roscats M10x1,50 on es roscaran els cargols que mantindran subjecte el cos de la CPCC a la base. El material preferit per fabricar aquesta peça és l'acer AISI 1020, encara que qualsevol dels acers provats seria suficient, gràcies a la robustesa del disseny.





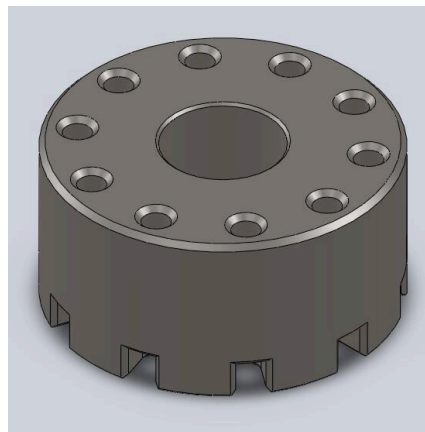
**Fig. 3.1.** Representació tridimensional de la peça CPCC-BS01.

### 3.1.2 Adaptador (CPCC-BS02)

La principal funció d'aquesta peça és la de conduir els cables del suport base cap a l'adaptador de la mostra. També serveix per dirigir el flux del gas que es dirigeix cap a la mostra.

Aquesta peça hauria de quedar subjectada al suport base després del primer muntatge, un cop instal·lats els cables.

El material preferit per fabricar aquesta peça és l'acer AISI 1020, encara que qualsevol dels acers provats seria suficient, gràcies a la robustesa del disseny.



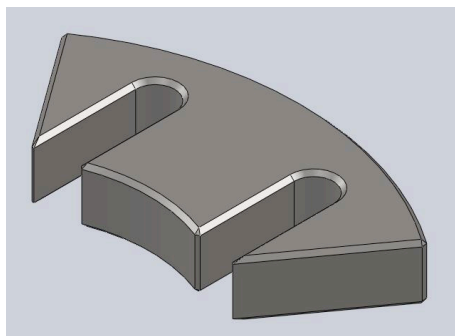
**Fig. 3.2.** Representació tridimensional de la peça CPCC-BS02.

### 3.1.3 Bloquejador del cos (CPCC-BS03)

La seva funció és la de mantenir la base i el cos units mentre la CPCC estigui operativa, i de permetre que es puguin desmuntar per a tasques de manteniment.

Seràn necessaris cinc bloquejadors per al muntatge complet de la CPCC.

El material preferit per fabricar aquesta peça és l'acer AISI 1020. Amb aquest acer es podria operar la CPCC fent-ne servir només 4 dels 5 recomanats. També es podria fer servir l'acer AISI 1035, en aquest cas instal·lant sempre els cinc bloquejadors previstos. Si preferim l'acer AISI 304 hem de tenir en compte que la pressió crítica es redueix fins a 150 bar amb els cinc bloquejadors instal·lats, i baixa fins a 100 bar si escollim l'acer AISI 316L (SS).

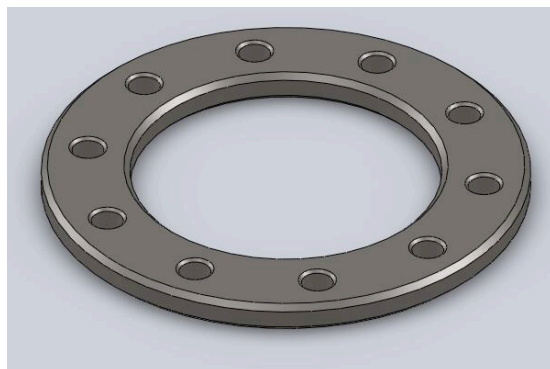


**Fig. 3.3.** Representació tridimensional de la peça CPCC-BS03.

### 3.1.4 Anell de fixació (CPCC-BS04)

Aquesta peça actua distribuint la força que fan els cargols (CPCC-CB05) sobre els bloquejadors del cos. Els cargols fan pressió sobre l'anell i l'anell sobre els bloquejadors.

El material preferit per fabricar aquesta peça és l'acer AISI 1020, encara que també serien vàlids els acers AISI 1035 i AISI 304.

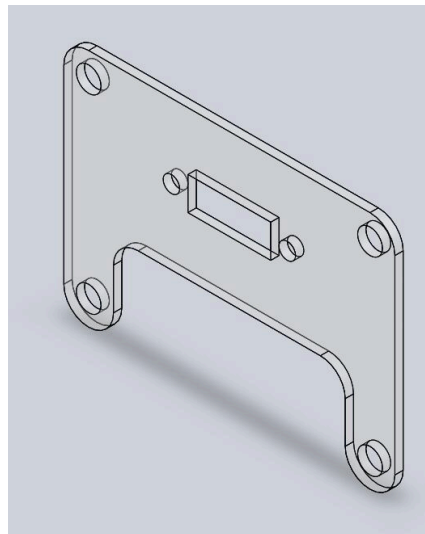


**Fig. 3.4.** Representació tridimensional de la peça CPCC-BS04.

### 3.1.5 Adaptador dels cables (CPCC-BS05)

Aquest adaptador serveix per acoblar-hi els connectors als que hi aniran a parar tots els cables. L'adaptador serà el que mantindrà tots els connectors a en una posició còmoda per connectar i desconnectar-hi els aparells de mesura o activació corresponents.

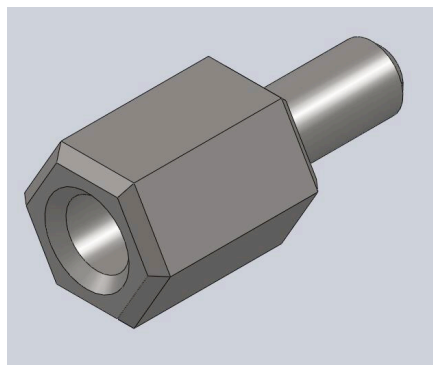
El ventall de materials que es poden fer servir per fabricar aquesta peça és molt ample. No ha de suportar grans pressions ni forces. Pot ser d'alumini, acer, plàstic,...



**Fig. 3.5.** Representació tridimensional de l'adaptador dels cables CPCC-BS05.

### 3.1.6 Cargol de l'adaptador dels cables (CPCC-BS06)

El cargol de l'adaptador dels cables manté l'adaptador dels cables fixat al suport base. Igual que l'adaptador dels cables no ha de suportar altes pressions. No ha de ser fabricat expressament, ja que podem trobar aquest producte al mercat.



**Fig. 3.6.** Representació tridimensional del cargol de l'adaptador dels cables CPCC-BS06.

### 3.1.7 Cable (CPCC-BS07)

Els cables que farem servir per comunicar l'interior de la cambra amb l'exterior han d'estar preparats per suportar altes temperatures, especialment els que duguin connectat el sistema d'ignició. Per això farem servir cables amb recobriments ignífugs. En total seran sis cables que aniran des de l'adaptador de la mostra fins al connector, passant per l'adaptador i el suport base. Són una part molt important de la CPCC, ja que serviran tant per iniciar la reacció química que voldrem analitzar com per obtenir dades que recollirem per al posterior estudi. La longitud del cable hauria de ser d'aproximadament 40cm cada un dels trossos. Si es pot obtenir un tros llarg i tallar-lo a la mida necessària en el moment de la instal·lació serà millor així.

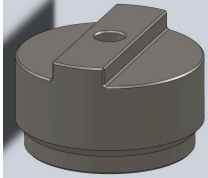
### 3.1.8 Connector (CPCC-BS08)

Aquests connectors aniran al final del cable, a l'adaptador dels cables, i permetrà la ràpida i senzilla connexió i desconnexió dels dispositius que vagin connectats a l'exterior de la CPCC, com l'activador del mecanisme d'ignició o els medidors de les dades dels sensors interns.

## 3.2 Cos

El cos és la part superior del CPCC. Comprèn l'entorn on es produeix la reacció química, les finestres per on s'observa l'activitat i la sortida dels gasos produïts per la combustió. Les finestres serveixen per deixar passar la llum i poder veure la reacció des de fora, i així poder analitzar-la mitjançant el tractament d'imatge. A la taula 2.2 hi trobareu les peces que formen el conjunt cos de la CPCC.

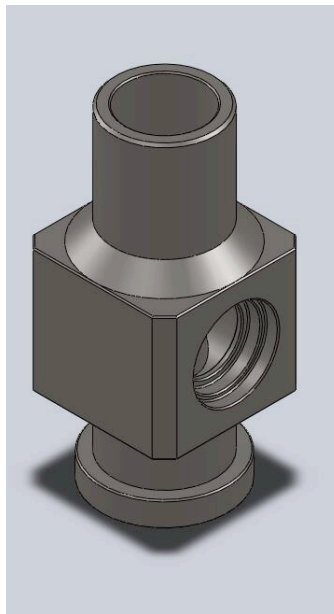
**Taula 2.2.** Components del cos de la CPCC.

CB00	Conjunt cos	Permet la visualització de l'àrea de combustió sense pèrdua de pressió.		
CB01	Cos de la cambra	Suporta les dues finestres i la tapa superior.		
CB02	Finestra x2	Permet el pas de la llum mantenint la pressió interior.		
CB03	Marc de la finestra x2	Manté la finestra al seu lloc.		
CB04	Tapa superior	Aguanta la tovera i hi condueix els gasos sortints.		
CB05	Cargol x10	Permet que la cambra es pugui desmuntar.		
CB06	Tovera	Permet la sortida de gasos.		

### 3.2.1 Cos de la cambra (CPCC-CB01)

Aquesta peça està dissenyada com la intersecció de dos cilindres. Dins el cos de la cambra és on es produeix la reacció química que voldrem estudiar. La importància d'aquesta peça consisteix en que té unes obertures als laterals on hi posarem unes finestres que permetran veure l'interior durant la reacció. A més, la part inferior ha de quedar bloquejada amb els bloquejadors, perquè quedi unit a la base.

El material preferit per fabricar la peça és l'acer AISI 1020. També és vàlid l'AISI 1035, però no ho són ni l'AISI 304 ni l'AISI 316L(SS).

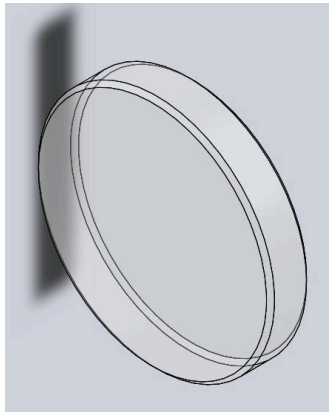


**Fig. 3.7.** Representació tridimensional del cos de la cambra CPCC-CB01.

### 3.2.2 Finestra (CPCC-CB02)

La finestra és una peça cilíndrica que tancarà els forats laterals que té el cos de la cambra. Caldran dos finestres per que la cambra pugui mantenir la pressió a l'interior. És molt important que el material que escollim permeti el pas de la llum, ja que és la seva funció, deixa veure l'interior de la cambra durant la reacció. De fet hi ha dues finestres perquè per una il·luminarem l'interior, mentre per l'altra enregistrarem les imatges de la reacció. Així podrem analitzar posteriorment les imatges per treure'n informació.

El millor material per a aquesta peça és el pyrex, que permet el pas de la llum i és prou resistent com per a suportar la pressió. També s'ha estudiat el quars com a alternativa, però ofereix pitjors resultats per al nostre cas.

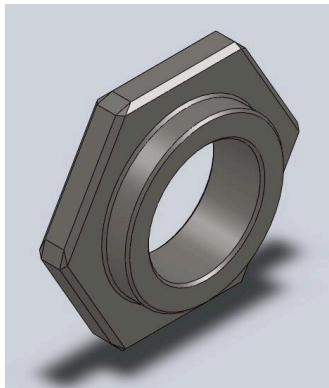


**Fig. 3.8.** Representació tridimensional de la finestra CPCC-CB02.

### **3.2.3 Marc de la finestra (CPCC-CB03)**

El marc de la finestra manté subjecta la finestra al cos de la cambra. En fa falta un per subjectar cada una de les finestres, per tant en necessitarem dos per completar la CPCC.

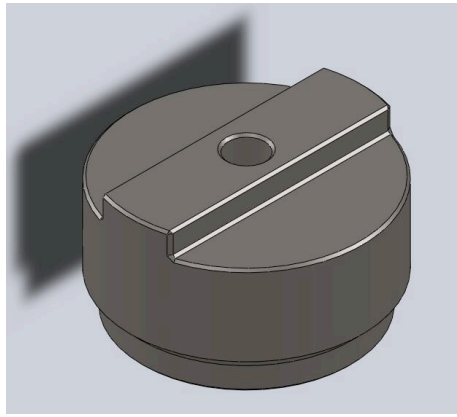
Qualsevol dels materials provats és vàlid per fabricar aquesta peça, però el preferit és l'acer AISI 1020.



**Fig. 3.9.** Representació tridimensional de la peça CPCC-CB03.

### **3.2.4 Tapa superior (CPCC-CB04)**

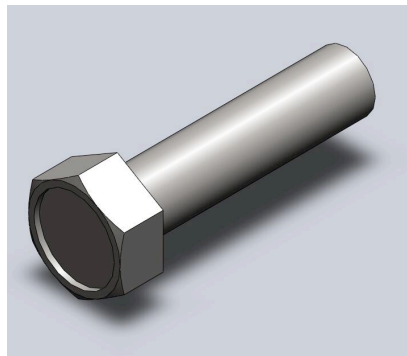
La tapa superior connecta el cos de la cambra amb la tovera. Té una forma arrodonida per afavorir la sortida des gasos.



**Fig. 3.10.** Representació tridimensional de la peça CPCC-CB04.

### **3.2.5 Cargol (CPCC-CB05)**

És un cargol hexagonal M10x1,5 que es pot trobar fàcilment al mercat. En necessitem 10 per completar el muntatge de la CPCC. Si no disposem de deu cargols dels esmentats, podrem fer funcionar la CPCC muntant com a mínim un cargol per cada bloquejador del cos que hàgim necessitat (veure apartat 2.2.3).



**Fig. 3.11.** Representació tridimensional del cargol CPCC-CB05.

### **3.2.6 Tovera (CPCC- CB06)**


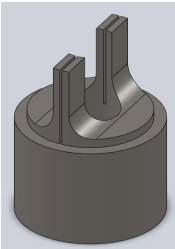
La tovera és l'element que culmina el cos de la CPCC per la part superior. Va roscada a la tapa superior i actua també com a vàlvula de seguretat. Es podran fer diversos models de tovera al laboratori mateix, amb materials més tous que els acers fets servir en la majoria de peces.



### 3.3 Adaptador de la mostra

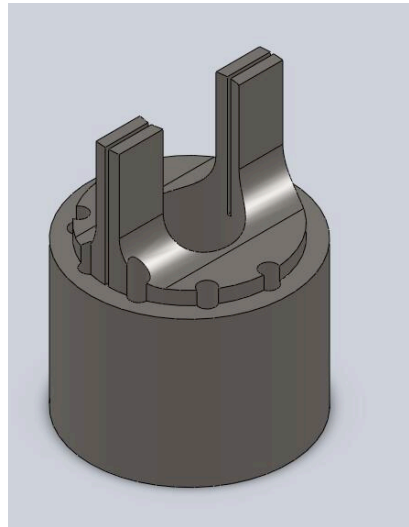
És la peça a la qual s'acobla la mostra del material que voldrem analitzar. Conté el mecanisme d'ignició i els sensors que aniran connectats per cable amb l'exterior.

**Taula 2.3.** Components de l'adaptador de la mostra de la CPCC.

SA00	Conjunt adaptador de la mostra	Suporta la mostra del material que volem analitzar i els instruments necessaris per activar-la i obtenir-ne dades.		
SA01	Adaptador de la mostra	Manté la mostra en la posició correcta dins el fluid.		
SA02	Connexions	Permeten la comunicació i ignició de la mostra.		

#### 3.3.1 Adaptador de la mostra (CPCC-SA01)

L'adaptador de la mostra és la peça que subjecta la mostra que volem analitzar en la posició correcta dins el fluid. La mostra durà un suport de tal manera que quedarà subjectada per la pinça de la part superior d'aquest adaptador. El forat central condueix el flux al voltant de la mostra i els altres sis forats serveixen per fer passar els cables del mecanisme d'ignició i dels sensors interns, que per exemple poden ser dos termoparells.



**Fig. 3.12.** Adaptador de la mostra CPCC-SA01.

### **3.3.2 Connexions (CPCC-SA02)**

A l'extrem interior dels cables hi hem de posar connectors per endollar-hi els sensors i el mecanisme d'ignició.

### **3.4 Materials**

Els materials escollits per fabricar la CPCC depenen de cada peça, les pressions a les què estan sotmeses i la seva funció. La major part de les peces són d'acer. Hi ha diversos tipus d'acer vàlids per a cada una de les peces. Al simulador n'hem provat quatre de diferents amb cada una de les peces sotmeses a altes pressions. Els acers que hem provat, ordenats de major a menor factor de seguretat són aquests: AISI 1020, AISI 1035 (SS), AISI 304 i AISI 316 (SS). A l'annex 2 hi trobareu la taula amb el factor de seguretat crític concret de cada un dels materials per cada una de les peces, a les pressions estudiades (100, 200 i 600 bars).



## CAPÍTOL 4. FUNCIONAMENT I ÚS

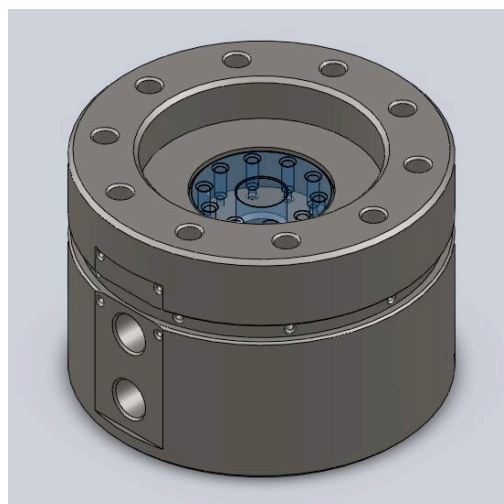
### 4.1. Material

Per al primer muntatge de la CPCC necessitarem, a més de totes les peces que hem vist en el capítol anterior: Claus per apretar els cargols que farem servir, alguna substància per fixar els cables i fer que el conducte pel qual passen quedi estanc (per exemple resina epoxi), una xeringa per aplicar la resina epoxi, unes alicates per tallar els cables i posar els connectors i cinta aïllant.

A més a més, per fer funcionar la cambra també necessitarem tenir els sensors que decidim instal·lar a l'interior i a l'exterior de la cambra, que com a mínim hauran d'incloure un mecanisme d'ignició i una font de gas (aire o altre gas no inflamable) a alta pressió. En cas que les connexions del manòmetre i/o de la entrada de pressió no siguin europeus caldrà tenir també la rosca per adaptar el M16 a la rosca que tinguin els aparells que hem de connectar. També fa falta una font de llum blanca i una càmera que enregistri en vídeo la reacció. Entre els sensors interns convé comptar també amb un o dos termoparells (amb dos podem calcular la velocitat de combustió amb més precisió).

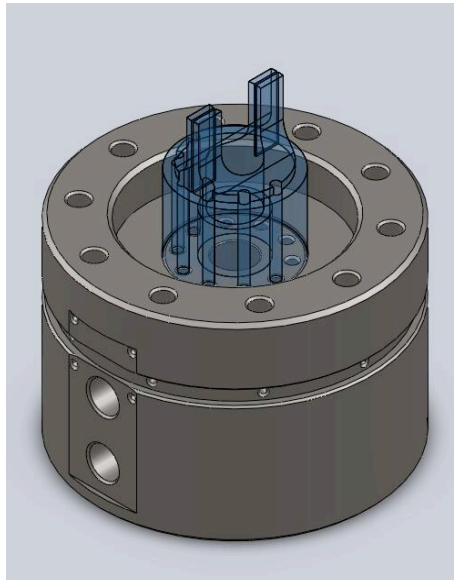
### 4.2. Muntatge

El primer pas és fer passar els cables pels forats de les peces BS01 i BS02. Amb els 6 cables passats aplicarem resina epoxi a la unió entre BS01 i BS02, a l'espai que quedi pels forats dels cables i situarem BS02 dins de BS01 en la seva posició definitiva (**fig. 4.1**). És important que sobri un bon tros de cable per ambdós extrems, ja que des de l'extrem que surt per BS02 encara han de passar pels orificis de SA01, i per l'extrem de BS01 han d'arribar fins a l'adaptador dels cables BS05. Aquest pas només cal fer-lo la primera vegada.



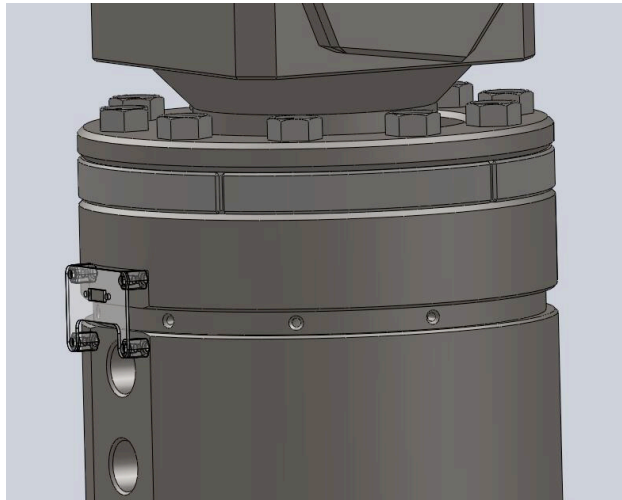
**Fig. 4.1.** Primer acoblament de peces per al muntatge de la CPCC.

El segon pas és insertar els cables de l'extrem que surt de BS02 a través de SA01. També cal que en sobri una mica. Caldrà afegir més resina epoxi als forats pels cables de BS02 i SA01. En caldrà afegir prou com per estar segurs que queda ben segellat. Llavors cal situar la peça SA01 a la seva posició definitiva (**fig. 4.2**). Després posarem els connectors al final dels cables, a ambdós extrems. Aquest pas també es fa només la primera vegada.



**Fig. 4.2.** Posició en que s'ha de situar la peça SA01 en relació al que hi ha d'haver muntat en el moment d'instal·lar-la.

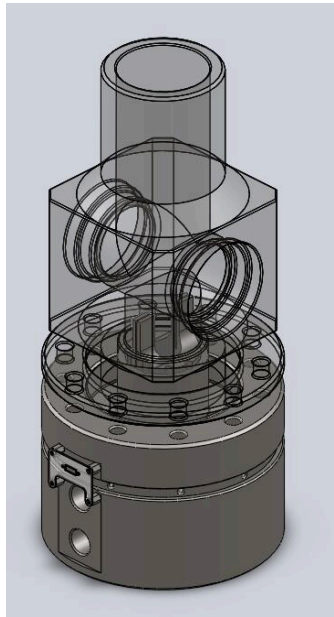
El tercer pas és i cargolar els cargols BS06 amb l'adaptador dels cables BS05 a la base BS01 (**fig. 4.3**). Aleshores ajuntar els extrems dels cables que surten de BS01 i fer-los arribar fins a l'adaptador dels cables BS05 de manera que quedin fixes. Aquest és l'últim pas que cal fer només la primera vegada.



**Fig. 4.3.** Lloc d'instal·lació dels cargols BS06 i l'adaptador BS05.

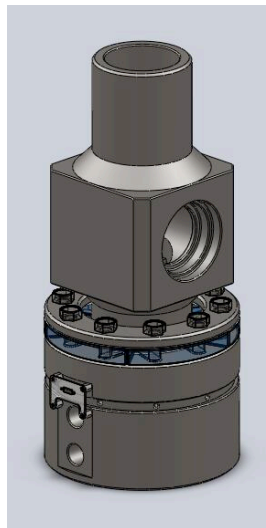
A partir d'aquí els passos que s'indiquen s'hauran de seguir cada vegada que e vulgui fer servir la CPCC. Els passos es poden fer en ordre de muntatge o en ordre invers per desmuntar la CPCC.

Per completar el quart pas del muntatge cal instal·lar els diferents sensors i el mecanisme d'ignició i connectar-los als cables corresponents. La mostra que vulguem analitzar haurà d'estar agafada amb les pinces de l'adaptador de la mostra SA01 situada de manera que quedi centrada sobre el forat que té aquesta peça al mig. Un cop la mostra estigui ben fixada i amb tots els sensors preparats posarem l'anell de fixació BS04 sobre el suport base BS01. A continuació cobrirem cuidadosament l'adaptador de la mostra amb el cos de la cambra CB01, que tindrà les finestres encarades de manera que per cada una d'elles es vegin tres dels connectors de l'adaptador de la mostra SA01 (**fig. 4.4**).



**Fig. 4.4.** Posició de l'anell de fixació BS04 i del cos de la cambra CB01 en el conjunt muntat.

El cinquè pas consisteix a situar els bloquejadors BS03 sobre el suport base BS01 i per sota de l'anell de fixació BS04, de manera que quedin subjectant també la part inferior del cos de la cambra CB01 (**fig. 4.5**). Seguidament cal posar els 10 cargols CB05 als forats de l'anell de fixació BS04 i els cal introduir fins a rosca-los amb el suport base i que el conjunt quedi ferm.

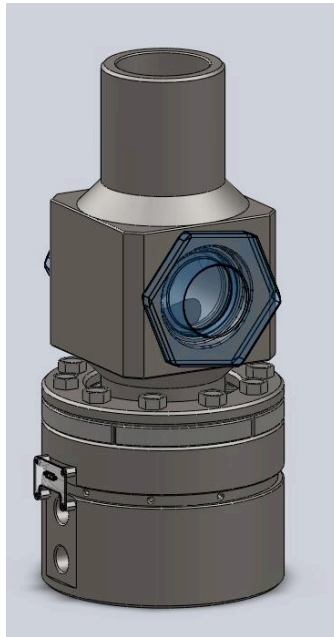


**Fig. 4.5.** Posició en que s'han de situar els bloquejadors BS03 i les cargols CB05.

En sisè lloc introduïrem les finestres CB02 als forats laterals del cos de la cambra CB01. Quan estigui posat ben endins enroscarem el marc de la finestra

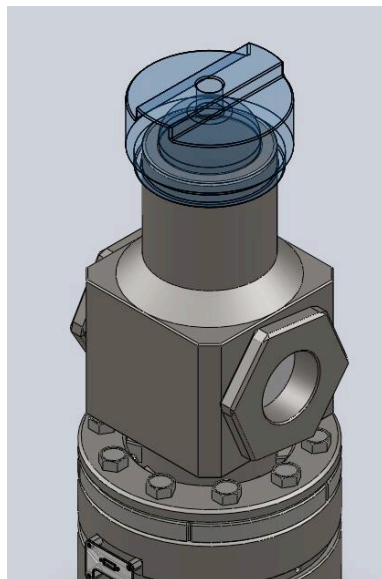


CB03 fins que quedi ben tancat (**fig. 4.6**). Repetirem la operació amb l'altra finestra.



**Fig. 4.6.** Posició de les finestres CB02 i els marcs de les finestres CB03 als laterals del cos de la cambra CB01.

El setè pas és cargolar la tapa superior CB04 a sobre del cos de la cambra CB01 fent que quedi ben fixat (**fig. 4.7**). A la tapa superior hi haurem de cargolar també la tovera.



**Fig. 4.7.** Posició de la tapa superior CB04 en el conjunt de la CPCC.

Un cop muntades totes les peces de la CPCC, la situarem sobre una superfície horitzontal i estable. Connectarem els cables als activadors i sensors externs. Cargolarem la entrada de gas a pressió i el manòmetre. Situarem el focus de llum encarat cap a una finestra i la càmera de vídeo a l'altra. Posarem a gravar la càmera i encendrem la llum. Obrim el pas del gas. Ara ja ho tenim tot preparat per accionar el mecanisme d'ignició i veure la reacció.

#### **4.3. Precaucions**

Aquest dispositiu està pensat per provar materials altament energètics, que manipulats inadecuadament poden resultar perillosos. Cal respectar les següents indicacions per que l'ús de la CPCC sigui el més segur possible:

- Els responsables de la CPCC s'asseguraran de que el muntatge sigui correcte abans d'obrir el pas del gas.
- Mentre la CPCC estigui operativa, a la sala només hi podrà haver els responsables de la CPCC.
- Els responsables cada prova estudiaran l'impacte ambiental que pugui causar la mostra que analitzin i prendran les mesures que calgui per evitar que productes perjudicials afectin a tercers.

## Conclusions

Durant el desenvolupament d'aquest treball he format part de l'equip Wikisat. Com a tal, no només m'he encarregat del desenvolupament de la CPCC sinó que també he participat en altres assumptes com la aparició en mitjans de comunicació o el tracte amb empreses per buscar col·laboradors.

En el procés de disseny de la CPCC he après a treballar amb la eina informàtica SolidWorks. Amb aquesta eina ara sóc capaç de realitzar un disseny i estudiar si és vàlid per al seu propòsit o si no ho és. Això inclou la simulació d'aplicació de càrregues i l'anàlisi dels resultats.

En el tracte amb empreses he visitat la fundació CIM per establir un acord de col·laboració amb l'equip. Durant la visita vam rebre consells sobre la creació de documents d'acord i diferents maneres de patrocini. Lamentablement la fundació CIM finalment no va acceptar col·laborar amb nosaltres, i encara queda pendent trobar un col·laborador que s'encarregui del mecanitzat de les peces necessàries per la construcció de la CPCC.

Com a conseqüència de no haver trobat un fabricant no hem pogut muntar la CPCC ni fer cap prova real fins ara. Queda pendent doncs la posta a punt de la CPCC, que volíem fer-la dins el meu treball de final de carrera i que s'haurà de fer quan disposem de totes les peces necessàries per al muntatge de la mateixa.

Com a valoració personal, m'ha agradat molt formar part d'un equip amb aspiracions tan ambiciosos i tan decidit a assolir els objectius que proposen els concursos en els quals participem.



## Bibliografia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Rosca\\_m%C3%A9trica](http://es.wikipedia.org/wiki/Rosca_m%C3%A9trica)

<http://www.ssec.honeywell.com/pressure/datasheets/ppte.pdf>

<https://measurementsensors.honeywell.com/Pages/Category.aspx?cat=Honeywell&category=PRODUCTTYPES-PRESSURE-GENERALPROCESS-SiliconDifferentialPressure>

<http://www.mcatronic.com/Documentacion/Mecanica/Uniones%20roscadas.pdf>

<http://code.google.com/p/moon-20/>

<http://www.googlelunarprize.org/>

<http://www.n-prize.com/>



## Annexes

### **Annex 1. Plànols de les peces que formen la CPCC a escala 1:5 i amb les mides en mm.**

CPCC-AA00. Dibuix del conjunt *Constant Pressure Combustion Chamber*

CPCC-BS-01. Detall del suport base

CPCC-BS-02. Detall del adaptador

CPCC-BS-03. Detall del bloquejador del cos

CPCC-BS-04. Detall del anell de fixació

CPCC-BS-05. Detall del adaptador dels cables

CPCC-BS-06. Detall del cargol de l'adaptador dels cables

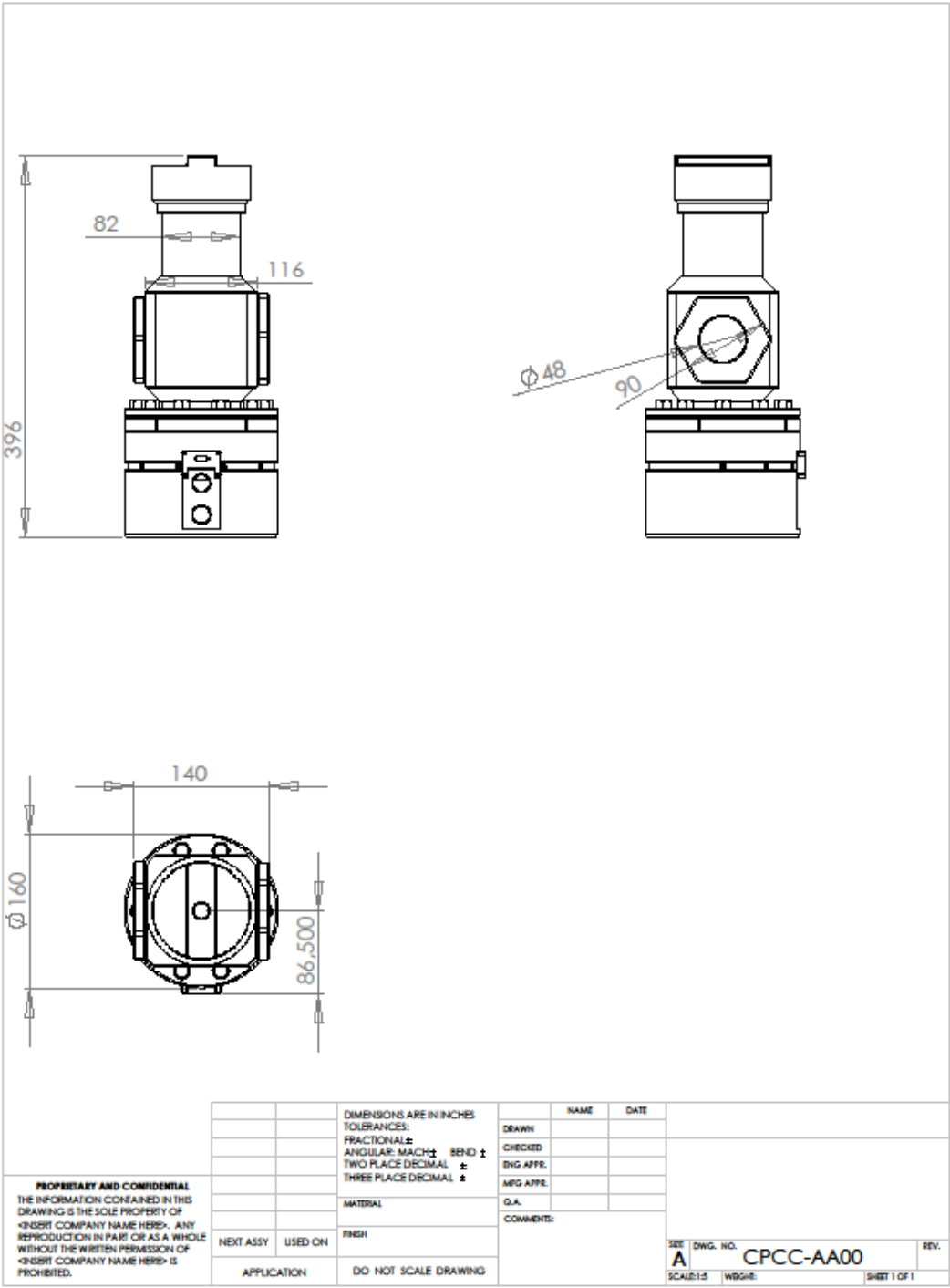
CPCC-CB-01. Detall del cos de la cambra

CPCC-CB-02. Detall de la finestra

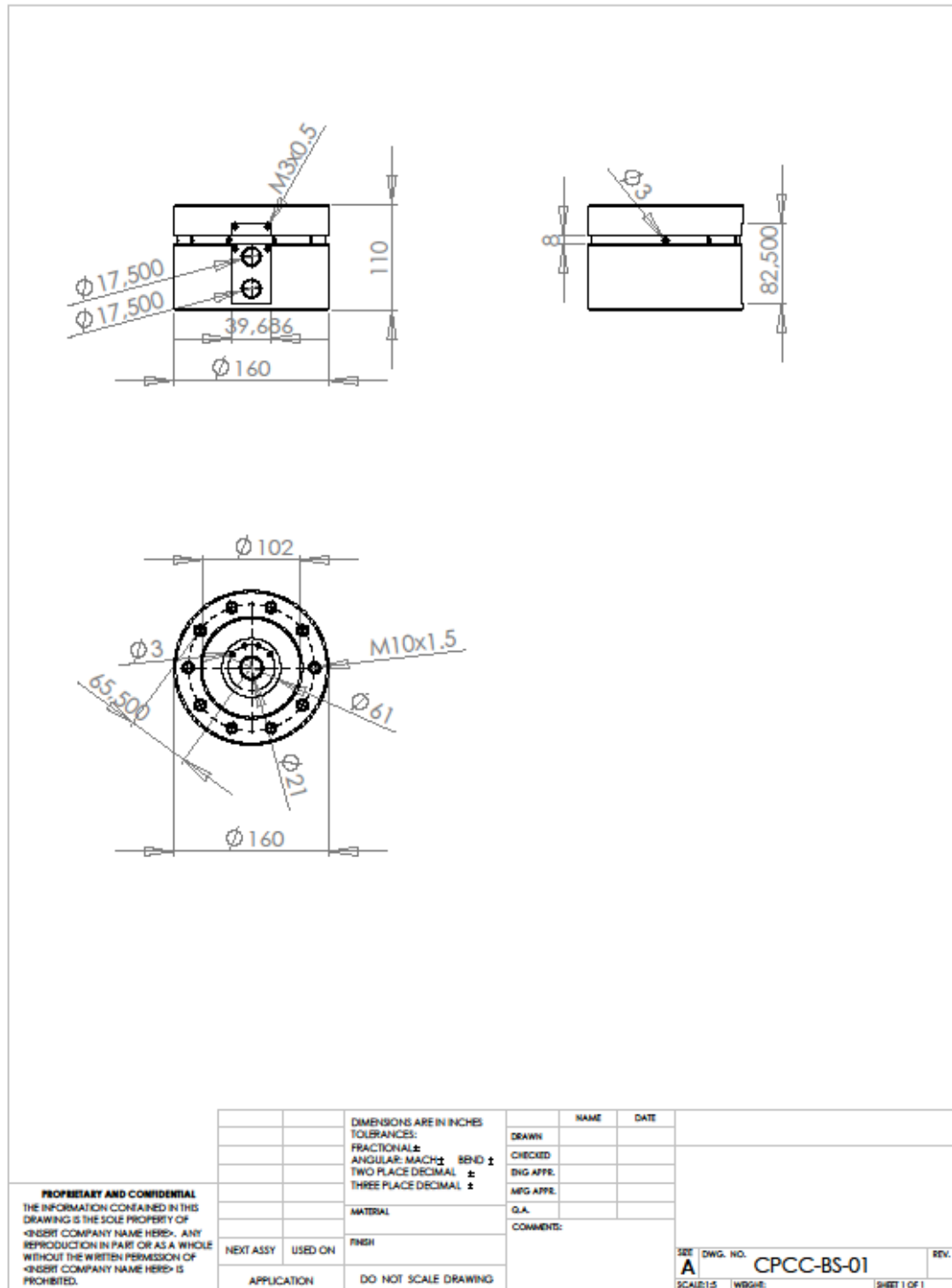
CPCC-CB-03. Detall del marc de la finestra

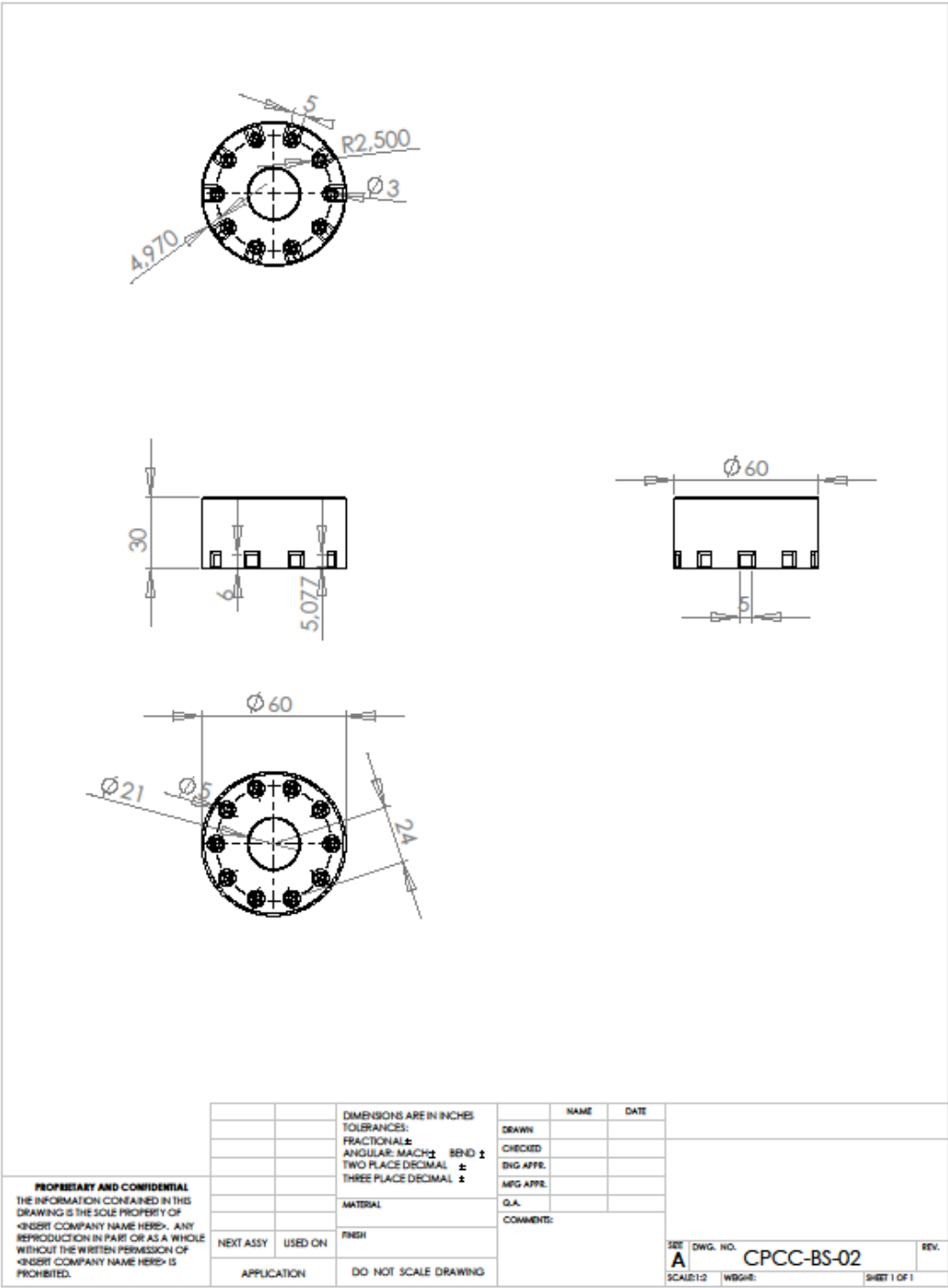
CPCC-CB-04. Detall de la tapa superior

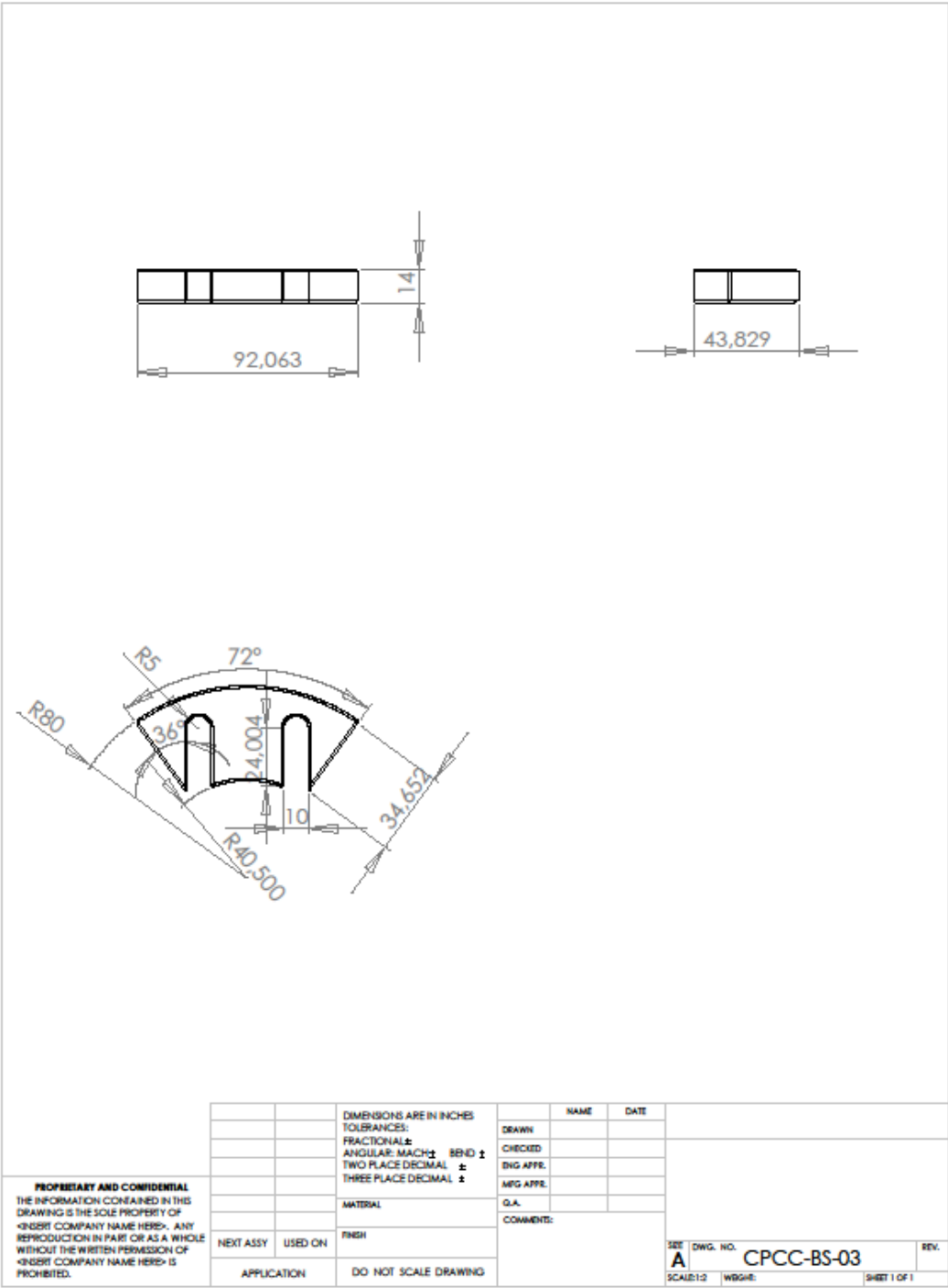
CPCC-CS-01. Detall de l'adaptador de la mostra

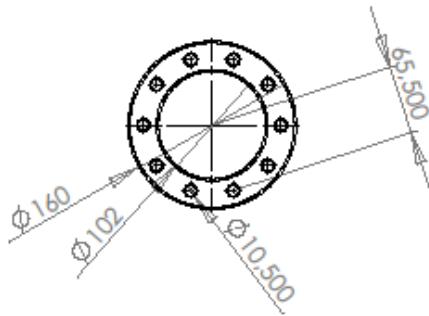




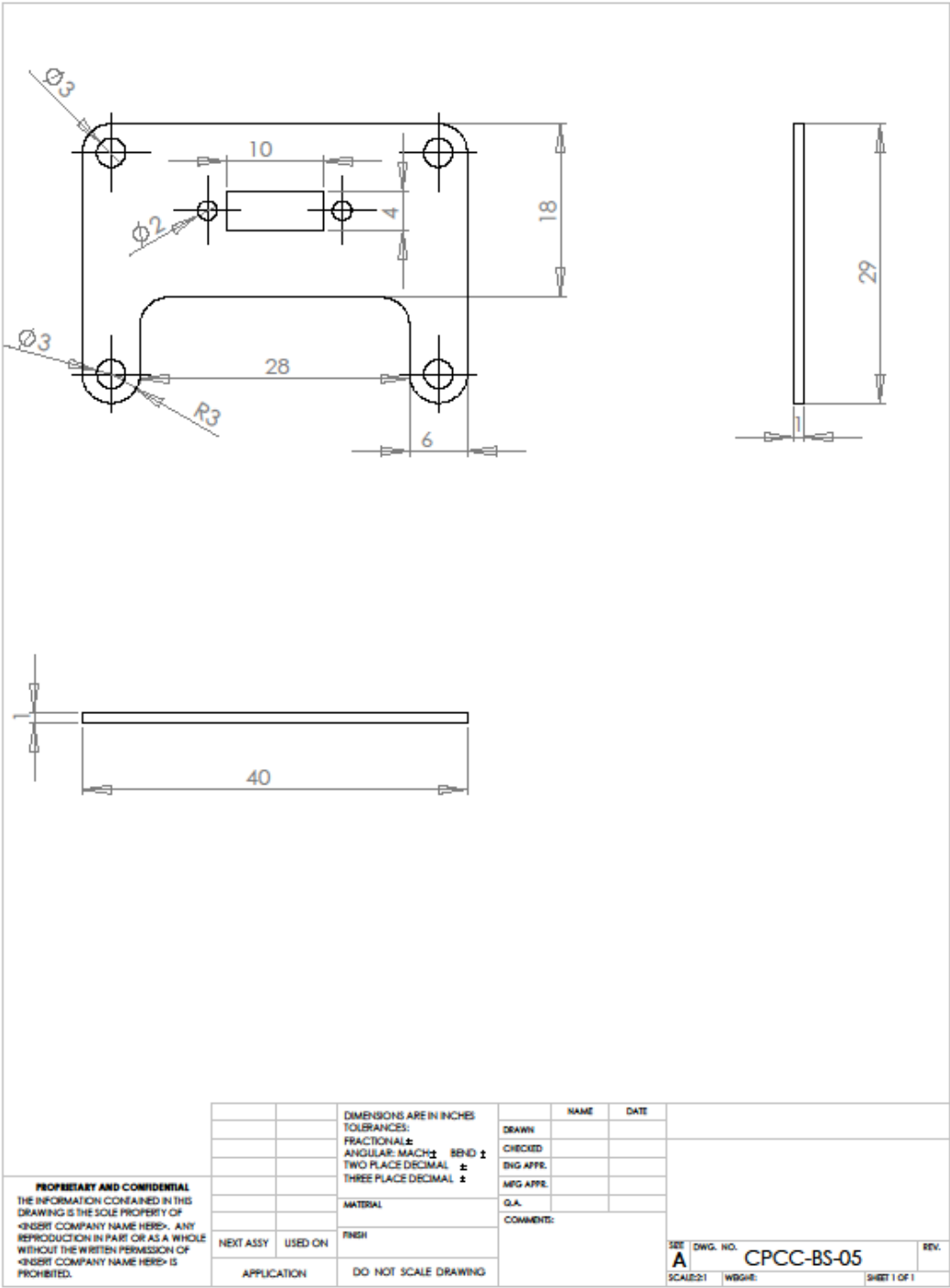


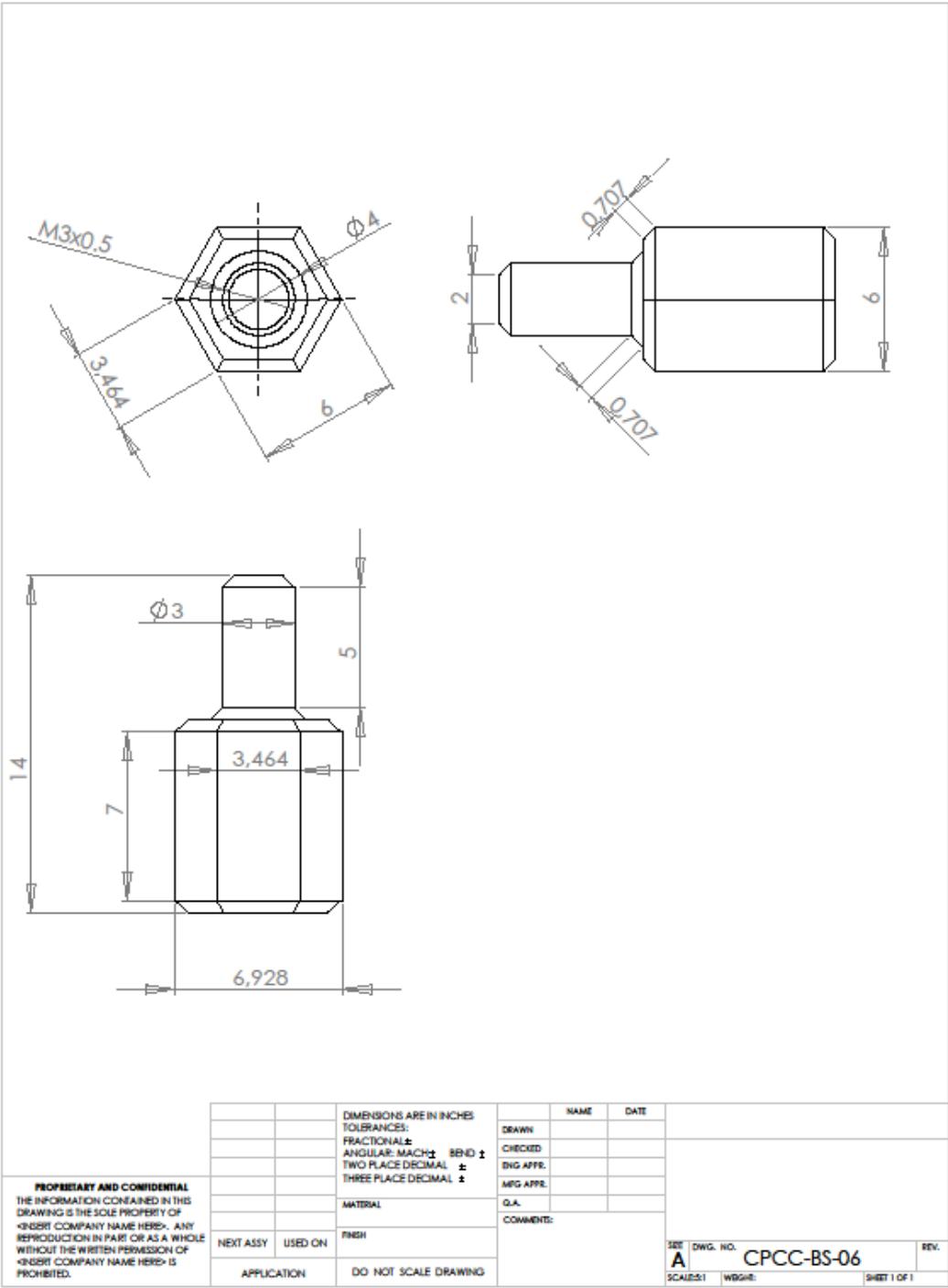


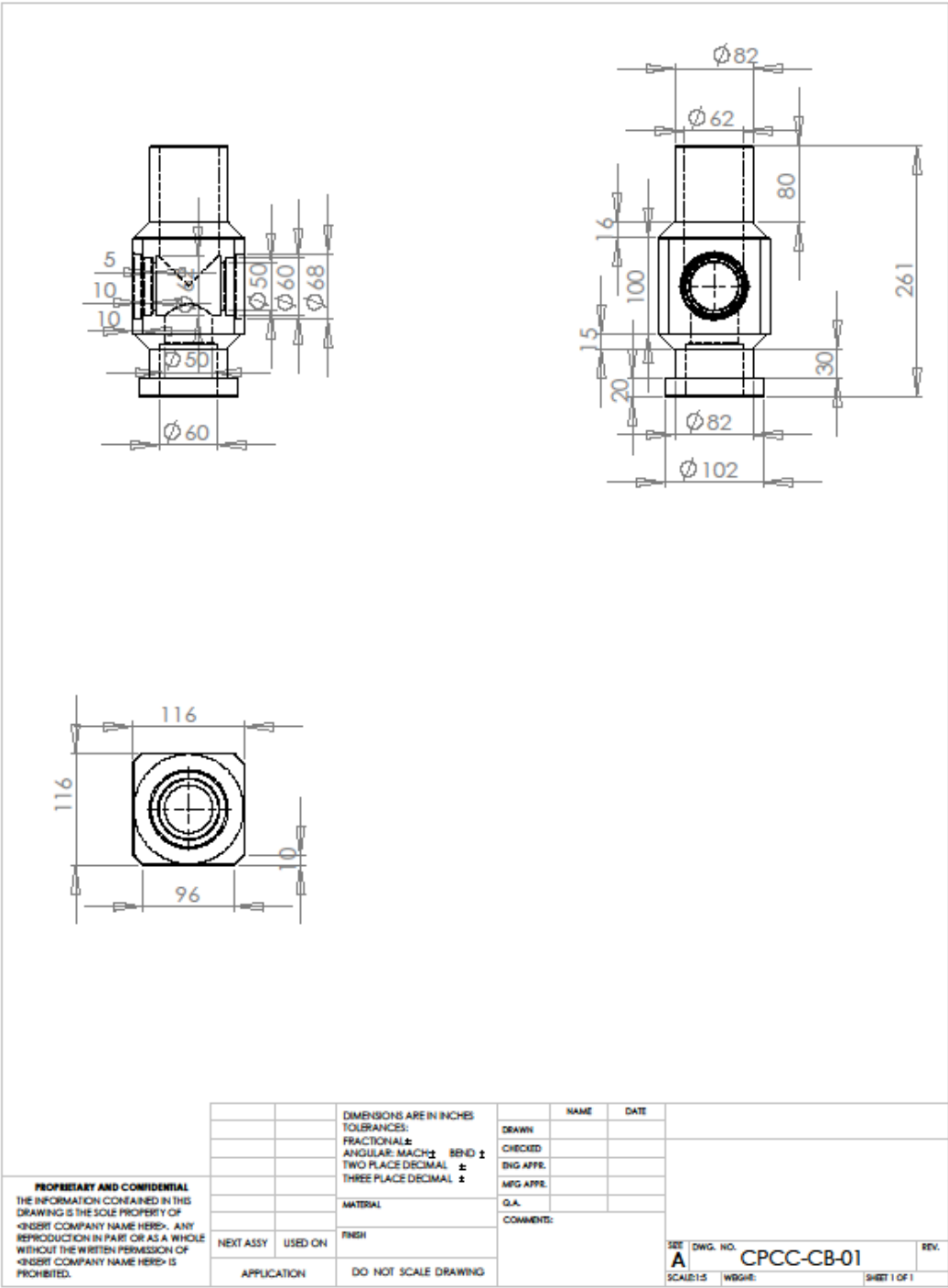


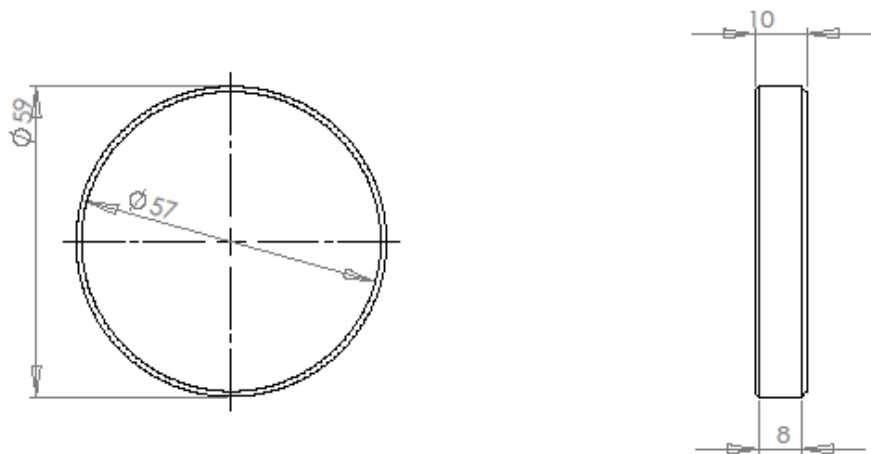


<b>PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL</b> THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <NGRT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <NGRT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.				DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL $\pm$ ANGULAR: MACH $\pm$ $\frac{1}{16}$ $\pm$ $\frac{1}{32}$ TWO PLACE DECIMAL $\pm$ THREE PLACE DECIMAL $\pm$		NAME DATE	
				DRAWN CHECKED ENG APPR. MFG APPR. Q.A. COMMENTS:			
		MATERIAL FINISH NEXT ASSY USED ON APPLICATION	DO NOT SCALE DRAWING	SEE DWG. NO. <b>CPCC-BS-04</b> REV. SCALE: 1:5 WBSH: SHEET 1 OF 1			



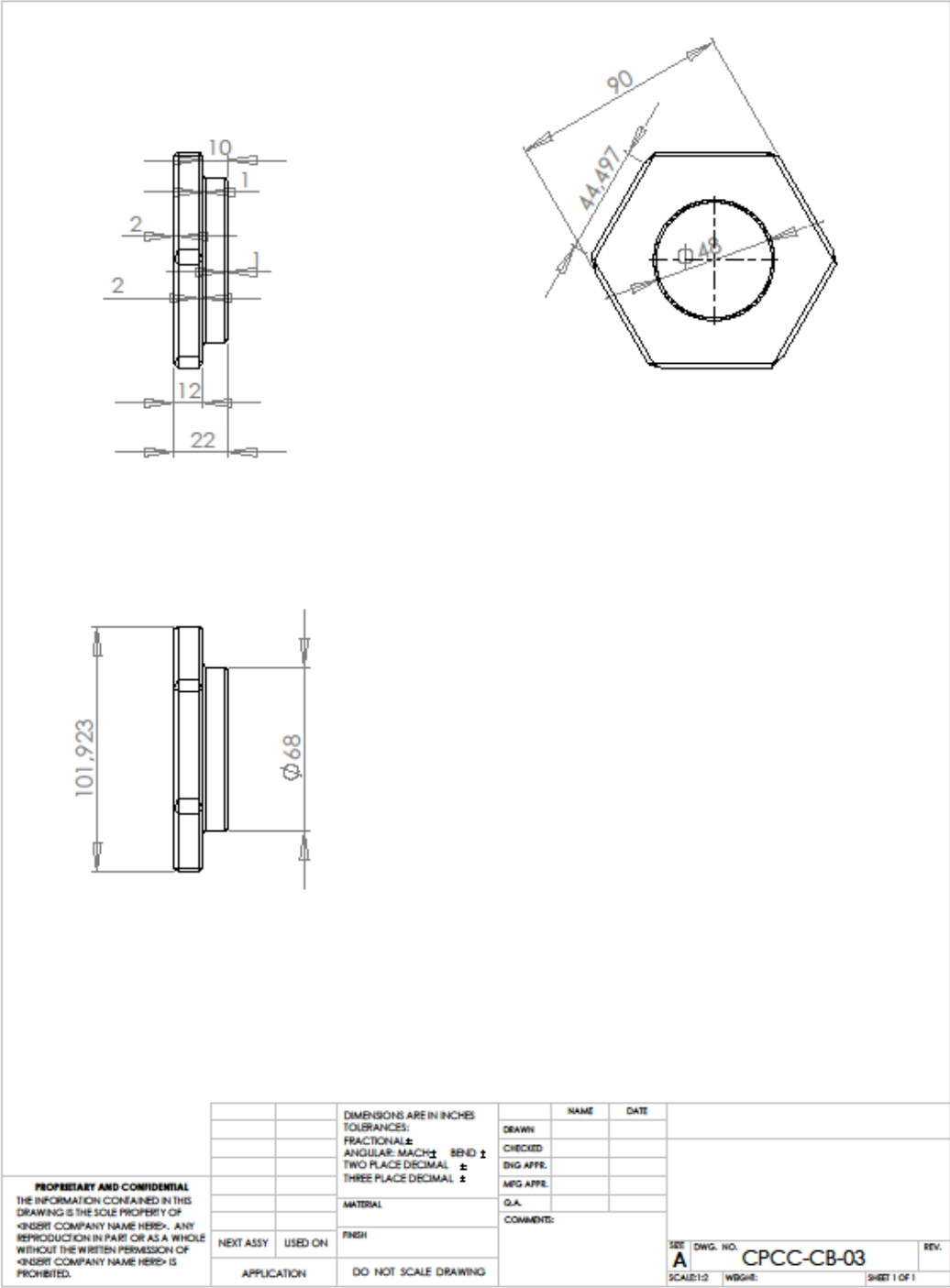


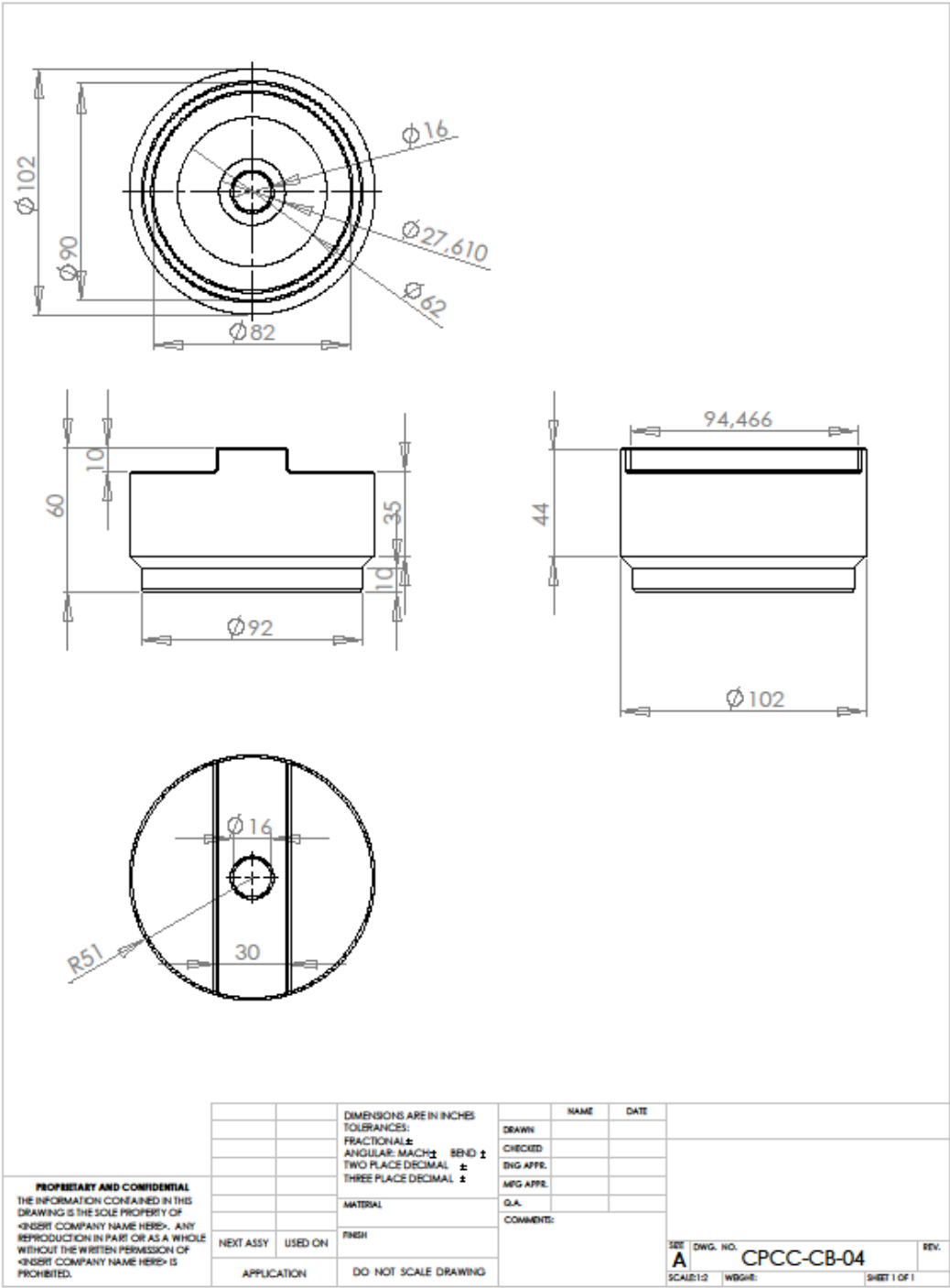


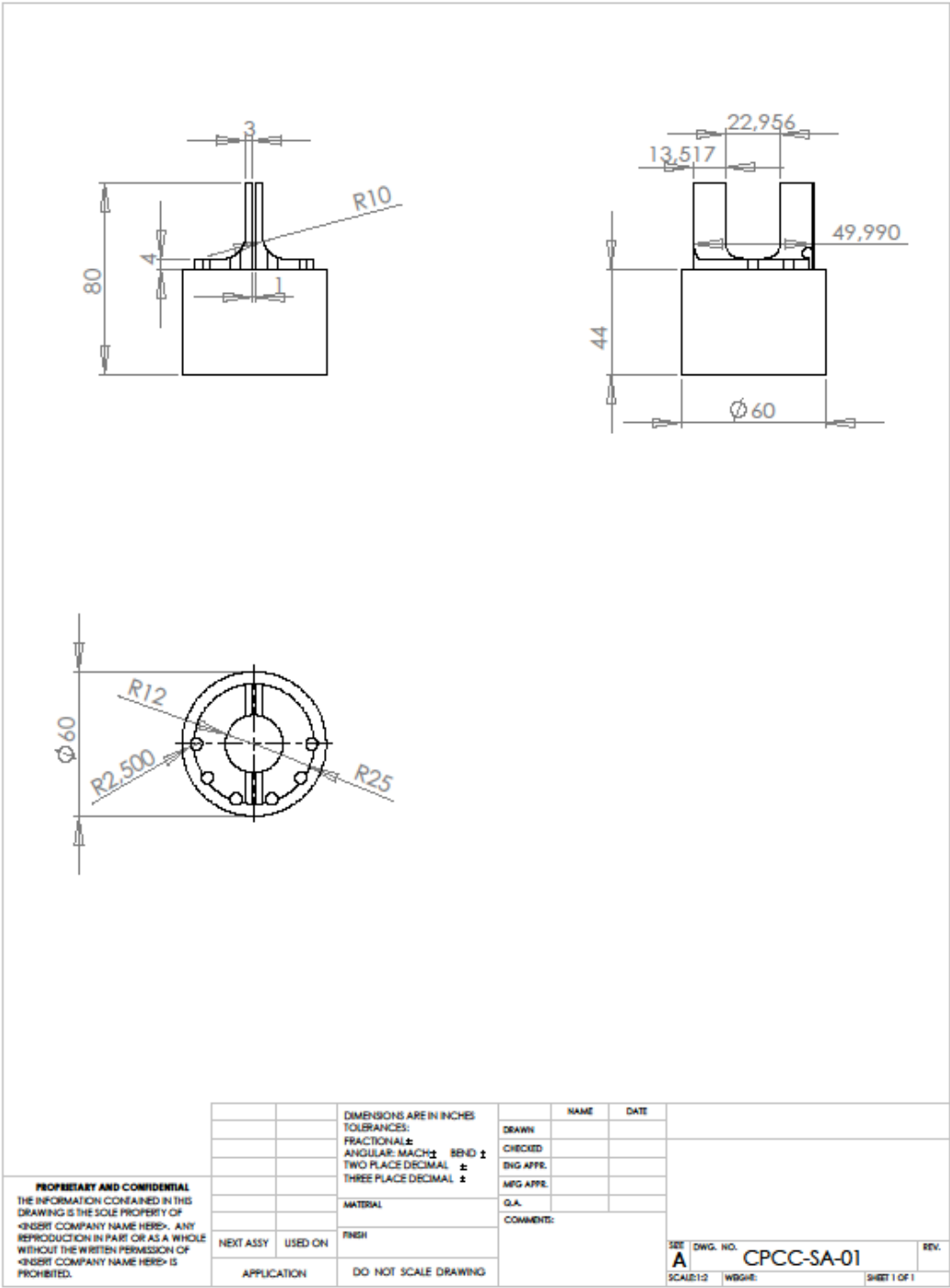


<b>PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL</b> THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <NGRT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <NGRT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.				DIMENSIONS ARE IN INCHES		NAME	DATE
				TOLERANCES:			
				FRACTIONAL ±		DRAWN	
				ANGULAR: MACH ±	BEND ±	CHECKED	
				TWO PLACE DECIMAL ±		ENG APPR.	
		THREE PLACE DECIMAL ±		MFG APPR.			
				Q.A.			
				COMMENTS:			
		MATERIAL					
		FINISH					
NEXT ASSY	USED ON						
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING					
			REV. A	DWG. NO. CPCC-CB-02	REV.		
			SCALE: 1:1	WDGHE:	SHEET 1 OF 1		









## Annex 2: Taules de factors de seguretat de cada peça en funció de la pressió aplicada i del material escollit.

Taula a2.1. Factor de seguretat amb material *AISI Type 1020 Steel*

P/N	Safety factor			Notes
	AISI 1020			
	100 bar	200 bar	600 bar	
BS00				
BS01	6,97194	3,48597	1,16199	
BS02	15,5285	7,76425	2,58774	
BS03	2,55703	1,27851	0,426171	applied pressure is 19597311N/m^2 for every 200bar in the CPCC
BS04	3,61534	1,80764	0,602546	applied pressure is 5827934 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
BS05				
BS06				
BS07				
BS08				
CB00				
CB01	2,76001	1,38001	0,460002	applied pressure is 36602560 N/m^2 for every 100bar in the CPCC for the part in touch with BS03
CB02	2,03318	1,01659	0,338864	this part is made of pyrex
CB03	5,91973	2,95987	0,986612	applied pressure is 32193190 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
CB04	7,65858	3,82929	1,27643	
CB05				
CB06				
SA00				
SA01				
SA02				

Taula a2.2. Factor de seguretat amb material *AISI Type 1035 Steel (SS)*

P/N	Safety factor			Notes
	AISI 1035 Steel (SS)			
	100 bar	200 bar	600 bar	
BS00				
BS01	5,60587	2,80294	0,934312	
BS02	12,4205	6,24343	2,08103	
BS03	2,05601	1,028	0,342668	applied force is 11.310N for 200bar in the CPCC
BS04	2,90696	1,45345	0,484484	applied pressure is 5827934 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
BS05				
BS06				
BS07				
BS08				
CB00				
CB01	2,21922	1,10961	0,369871	applied pressure is 36602560 N/m^2 for every 100bar in the CPCC for the part in touch with BS03
CB02				
CB03	4,75983	2,37992	0,793297	applied pressure is 32193190 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
CB04	6,15797	3,07899	1,02633	
CB05				
CB06				
SA00				
SA01				
SA02				

Taula a2.3. Factor de seguretat amb material *AISI Type 304 Steel*

P/N	Safety factor			Notes
	AISI 304			
	100 bar	200 bar	600 bar	
BS00				
BS01	4,10121	2,05061	0,683525	
BS02	9,13514	4,56757	1,52222	
BS03	1,50414	0,752068	0,250689	applied force is 11.310N for 200bar in the CPCC
BS04	2,12667	1,06332	0,354439	applied pressure is 5827934 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
BS05				
BS06				
BS07				
BS08				
CB00				
CB01	1,62354	0,811771	0,27059	applied pressure is 36602560 N/m^2 for every 100bar in the CPCC for the part in touch with BS03
CB02				
CB03	3,4822	1,7411	0,580361	applied pressure is 32193190 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
CB04	4,50506	2,25253	0,750843	
CB05				
CB06				
SA00				
SA01				
SA02				

Taula a2.4. Factor de seguretat amb material *AISI Type 316L Stainless steel*

P/N	Safety factor			Notes
	AISI Type 316L stainless steel			
	100 bar	200 bar	600 bar	
BS00				
BS01	3,33876	1,66938	0,55646	
BS02	7,12418	3,56209	1,18736	
BS03	1,20659	0,603297	0,168897	applied force is 11.310N for 200bar in the CPCC
BS04	1,70597	0,852971	0,284324	applied pressure is 5827934 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
BS05				
BS06				
BS07				
BS08				
CB00				
CB01	1,32266	0,661331	0,220444	applied pressure is 36602560 N/m^2 for every 100bar in the CPCC for the part in touch with BS03
CB02				
CB03	2,83026	1,41513	0,471705	applied pressure is 32193190 N/m^2 for every 100bar in the CPCC
CB04	3,67915	1,83957	0,613191	
CB05				
CB06				
SA00				
SA01				
SA02				